

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

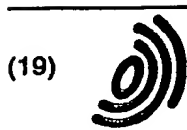
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 1 108 677 A1

(12) DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
20.06.2001 Bulletin 2001/25

(51) Int Cl.7: B81B 7/00, H01L 21/50,
H01L 23/10, H01L 23/31

(21) Numéro de dépôt: 99125008.5

(22) Date de dépôt: 15.12.1999

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeur: Guelssaz, François
2075 Wavre (CH)

(74) Mandataire: Laurent, Jean et al
I C B
Ingénieurs Conseils en Brevets SA
Rue des Sors 7
CH-2074 Marin (CH)

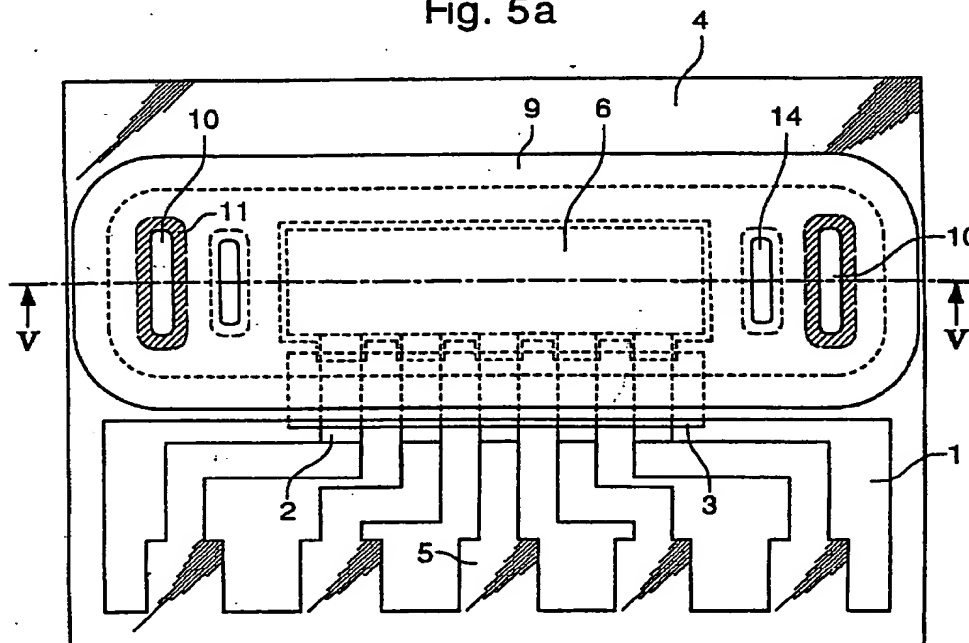
(71) Demandeur: ASULAB S.A.
CH-2501 Blénie (CH)

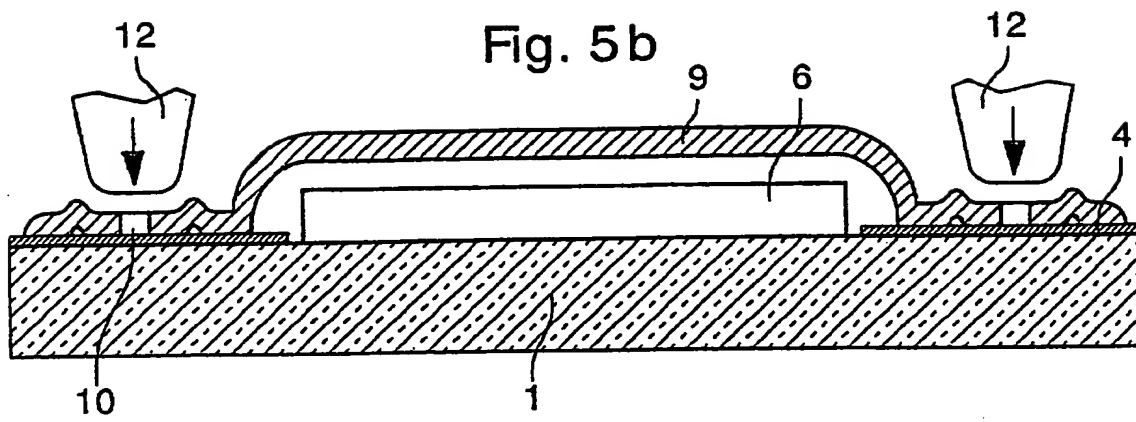
(54) Procédé d'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes

(57) Le procédé d'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes consiste dans une première phase à monter sur un substrat commun (1) plusieurs microsystèmes (6) entourés par une couche métallique d'accrochage (4) déposée sur le substrat (1). Dans une deuxième phase, on dépose une première couche métallique (7) par voie électrolytique sur chaque microsystème et sur des zones annulaires de la couche d'accrochage (4) entourant chaque microsystème de façon à recouvrir complètement chaque microsystème (6), on dépose par la suite une deuxième couche métallique (9) par voie

électrolytique sur la première couche métallique (7) et sur la couche d'accrochage de façon à recouvrir la majeure partie de la première couche à l'exception d'au moins un passage (10) par microsystème (6), donnant accès à la première couche (7). Le métal de la première couche est différent des métaux de la couche d'accrochage, de la deuxième couche et du microsystème. On retire par gravure chimique sélective la première couche (7) par les passages (10), que l'on referme pour obtenir des capsules métalliques enfermant hermétiquement chaque microsystème.

Fig. 5a





Description

[0001] L'invention concerne un procédé d'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes. Au moins un microsystème monté sur un substrat est encapsulé sous une capsule métallique réalisée in situ. On entend par montage soit le placement du microsystème, réalisé préalablement, sur le substrat, soit la réalisation in situ du microsystème sur le substrat. De préférence, plusieurs microsystèmes sont fabriqués en commun sur le même substrat dans des dimensions micrométriques. L'encapsulation enfermant le microsystème doit être hermétique et laisser ledit microsystème libre de mouvements à l'intérieur de la capsule.

[0002] On entend par microsystèmes des structures tridimensionnelles, c'est-à-dire des dispositifs micro-optoélectromécaniques (MOEMS) ou des dispositifs microélectromécaniques (MEMS) tels que des contacteurs reed, des accéléromètres, des micromoteurs, des capteurs de taille micrométrique où il est nécessaire de les laisser libres de mouvements après encapsulation. La construction desdits microsystèmes peut se faire sur un substrat isolant ou sur un substrat dont des circuits intégrés ont été préalablement réalisés. Dans ce dernier cas, il est possible de prendre les plages de contact métallique du circuit intégré pour débiter le dépôt des couches métalliques devant constituer en partie le microsystème et pour permettre de le relier électriquement audit circuit.

[0003] Dans le brevet CH 688213 du même demandeur, il est décrit un contacteur « reed » ou à lames de taille micrométrique et son procédé de réalisation dans lequel des lames métalliques distantes l'une de l'autre à l'état de repos sont réalisées par voie électrolytique en plusieurs étapes et sont solidaires d'un plan de base. Les lames sont constituées d'un alliage de fer et de nickel, déposé par procédé électrolytique, qui a la propriété d'être ferromagnétique de façon à pouvoir être mises en contact l'une avec l'autre lorsqu'un champ magnétique les traversant crée une force d'attraction entre elles. Ce contacteur est encapsulé sous un couvercle creux qui est fixé par exemple à l'aide d'une colle epoxy sur le plan de base qui peut être un substrat en verre ou une couche isolante obtenue par oxydation de la surface d'un substrat en silicium. Le couvercle est constitué d'une plaque en verre dans laquelle des cavités sont formées par gravure chimique. Cette plaque permet d'enfermer chaque contacteur dans chacune des cavités créées. Elle peut être collée sur le plan de base ou être soudée par une soudure eutectique ou anodique. Dans une opération finale, la multitude de contacteurs ainsi réalisés et scellés sont séparés par sciage.

[0004] Dans ce type de réalisation, il est nécessaire d'usiner la plaque de verre séparément du substrat sur lequel sont fabriqués les contacteurs, ce qui est un inconvénient. De plus, la plaque doit être collée avec précision sur le plan de base à l'aide d'epoxy, et le scellement n'est pas hermétique à long terme, car l'epoxy ab-

sorbe l'eau et dégaze des substances susceptibles de perturber le fonctionnement du contacteur. Dans d'autres modes de réalisation, le traitement thermique peut être destructif.

5 [0005] On note encore dans la réalisation d'un contacteur encapsulé sous une cloche en verre comme décrit dans ce document CH 688213 lors de mesures de résistances de contact entre les lames métalliques que, avant encapsulation du contacteur, la moyenne des ré-
10 sistances de contact de tous les contacteurs réalisés sur un même substrat était bien centrée autour de 10 ohms, alors qu'après ladite encapsulation, on a mesuré que cette moyenne des résistances de contact s'élevait de 10 à 60 ohms.

15 [0006] Dans le document EP 302165, il est spécifié que l'on forme par estampage une feuille d'étain pour servir de cloche métallique à un circuit intégré, que l'on vient coller cette estampe sur une plaque de base où est placé le circuit intégré de façon à fermer ledit circuit
20 sous la cloche, et que l'on revêt le tout d'une couche de polyéthylène. La colle, comme expliqué ci-dessus, peut causer une contamination du microsystème et de ce fait ne permet de garantir une encapsulation hermétique. Il n'est pas possible en outre de concevoir in situ la cloche par estampage. De plus, la réalisation de ces estampes, qu'il faut placer individuellement sur chaque microsys-
25 tème, compliquerait la réalisation d'une encapsulation de plusieurs microsystèmes montés sur un même substrat.

30 [0007] Dans le domaine combinant des dispositifs micromécaniques et électroniques, l'utilisation de couches sacrificielles est déjà connue, notamment dans le cas où l'on souhaite par exemple faire un pont métallique entre un circuit intégré et un capteur, mais pas dans le
35 cas de la réalisation d'une encapsulation métallique hermétique de microsystèmes.

[0008] Le document US 5798283 décrit un procédé de fabrication d'au moins un dispositif microélectromécanique avec un circuit électronique. Une cavité est gra-
40 vée dans le substrat par exemple en silicium afin d'y loger le dispositif micromécanique. Ce dernier est construit à l'aide de différentes couches de polysilicium afin d'obtenir des éléments pouvant être libres de mouvements. Le dispositif doit être protégé à l'aide de couches
45 d'oxyde ou de nitrure de silicium afin de pouvoir réaliser les étapes de réalisation du circuit intégré ultérieures. Cette protection du dispositif micromécanique est nécessaire contre des températures de diffusion de dopants (bore, phosphore par exemple) qui s'élèvent à plus de 700°C, ce qui peut détruire en partie les élé-
50 ments dudit dispositif micromécanique conçus avec certains métaux à bas point de fusion, et également pouvoir éviter de doper lesdits éléments s'il s'agit de polysilicium.

55 [0009] Une fois les opérations du circuit intégré terminées, deux ouvertures sur une couche de protection au-dessus des couches de SiO₂ ou de Si₃N₄ permettent de retirer par gravure chimique en partie lesdites cou-

ches de SiO₂ ou Si₃N₄ afin de libérer le dispositif micromécanique et de le laisser libre de mouvements. Lors de ce retrait, des précautions doivent être prises pour éviter une gravure latérale trop importante, du fait que le circuit intégré est construit à côté du dispositif micromécanique.

[0010] Il aurait pu être imaginé, au lieu de pratiquer deux ouvertures dans la couche de protection, d'utiliser uniquement une couche de polysilicium poreux afin de retirer les couches de SiO₂ ou Si₃N₄ par attaque chimique, notamment avec de l'acide fluorhydrique, à travers le polysilicium, et ensuite rincer avec de l'eau déionisée.

[0011] On tire enseignement de ce document, que l'encapsulation se fait à l'aide de couches autres que métalliques, qu'une cavité est usinée au préalable dans le substrat pour y loger le microsystème par des techniques de gravure similaire à celles utilisées dans le domaine de la microélectronique, et que surtout il est nécessaire de protéger le microsystème pendant la réalisation du circuit intégré correspondant avec des couches supportant des températures élevées. De ce fait, il n'est pas question de déposer des couches métalliques notamment par voie électrolytique sur ledit dispositif micromécanique pour la création d'une encapsulation métallique hermétique.

[0012] Il est décrit dans le document EP 435530 un système électronique hermétiquement scellé par des couches métalliques dont l'une est déposée par voie électrolytique. Le système électronique est une association de différents circuits intégrés, dont l'interconnexion est à haute densité (HDI), collés et logés dans une cavité micro-usinée dans un substrat en verre ou en céramique. Une première couche métallique, notamment en chrome ou titane, est pulvérisée sur une couche de diélectrique qui surplombe les interconnexions réalisées pour les différents circuits, de façon à enrober toute la structure et à venir en contact à même la surface du substrat. Par la suite, on dépose par voie électrolytique une seconde couche métallique par dessus la première couche afin de créer une couche de protection plus épaisse contre divers contaminants pouvant perturber les circuits.

[0013] Le document EP 435530 n'apporte aucun enseignement pour la réalisation d'une encapsulation de microsystèmes, tels que des contacteurs de type « reed », car on ne veut pas de polymères qui ont le désavantage de produire des gaz, c'est-à-dire de dégazer, et donc de créer des défauts qui seront perceptibles sur le bon fonctionnement du contacteur. De plus, il est à noter qu'il n'est pas envisagé de créer une capsule métallique par le biais d'une couche métallique sacrificielle retirée après le dépôt d'une couche métallique subséquente constituant la capsule.

[0014] Un but que se propose de résoudre ladite invention consiste à réaliser une encapsulation hermétique in situ de microsystèmes en palliant les inconvénients de l'art antérieur cité ci-dessus.

[0015] Un autre but de la présente invention est de pouvoir réaliser une capsule métallique par électrodéposition de couches métalliques pour l'encapsulation de microsystèmes à des températures inférieures à 350°C maximum, ce qui se différencie d'étapes de procédé de fabrication de circuits intégrés où notamment la diffusion de phosphore ou de bore se fait à des températures dépassant 700°C et pouvant atteindre même 1300°C, ce qui est bien supérieur à la température indiquée ci-dessus.

[0016] Un autre but que se propose de résoudre le procédé objet de l'invention est d'éviter d'avoir une aussi grande dispersion des valeurs de résistance de contact après encapsulation hermétique, dans le cas où le microsystème est un contacteur, et de laisser le microsystème dans une atmosphère inerte ou réductrice.

[0017] Ces buts, ainsi que d'autres, sont atteints grâce au procédé d'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes dans lequel, dans une première phase, on monte sur un substrat commun plusieurs microsystèmes entourés par une couche métallique d'accrochage déposée sur le substrat, le procédé se caractérisant en ce que, dans une deuxième phase, on dépose dans une opération commune de dépôt une première couche métallique sur chaque microsystème et sur une zone annulaire de la couche d'accrochage entourant chaque microsystème de façon à recouvrir complètement chaque microsystème par débordement, en ce qu'on dépose une deuxième couche métallique par voie électrolytique sur la première couche métallique et sur la couche d'accrochage de façon à recouvrir la première couche sur une majeure partie de sa surface en laissant au moins un passage par microsystème dans la deuxième couche pour donner accès à la première couche, le métal de la première couche étant différent des métaux de la couche d'accrochage, de la deuxième couche et du microsystème, en ce qu'on retire par gravure chimique sélective la première couche au travers de chaque passage de la deuxième couche, et en ce qu'on referme chaque passage de la deuxième couche pour obtenir des capsules métalliques enfermant hermétiquement chaque microsystème.

[0018] Un avantage du procédé de l'invention consiste à réaliser une encapsulation métallique hermétique par des moyens qui permettent de traiter simultanément des substrats sur lesquels plusieurs microstructures ont été fabriquées ou montées.

[0019] Un autre avantage du procédé de l'invention réside en ce que le maintien de la capsule métallique réalisée sur le substrat et enfermant le microsystème est obtenu sans l'aide de colles pouvant contenir des polymères susceptibles de dégazer des contaminants à l'intérieur de la capsule métallique, risquant de perturber le microsystème.

[0020] Pour cela, il a été imaginé de créer une encapsulation métallique de microsystèmes à l'aide de dépôts de métaux, dont une des couches métalliques sert de couche sacrificielle, et dont au moins la couche métal-

lique finale est déposée par voie électrolytique, sur une couche d'accrochage métallique ayant une bonne adhérence à la surface isolante du substrat.

[0021] Pour la réalisation de cette capsule, une première couche métallique, dénommée couche sacrificielle, est déposée, de préférence par voie électrolytique, sur l'ensemble des microsystèmes et sur des zones annulaires de la couche d'accrochage entourant chaque microsystème de façon à recouvrir complètement chaque microsystème par débordement. Après le dépôt de cette première couche métallique, les microsystèmes revêtus ont un aspect en forme de dôme. Une deuxième couche métallique est ensuite déposée par voie électrolytique sur la première couche avec des passages donnant accès à la première couche.

[0022] La première couche métallique est constituée d'un métal différent des métaux constituant la deuxième couche, la couche d'accrochage et également du microsystème, de façon à pouvoir servir de couche sacrificielle et pouvoir être sélectivement retirée par gravure chimique au travers d'au moins un passage pratiqué dans la deuxième couche métallique afin de réaliser la capsule métallique. Dans une étape finale de l'encapsulation, il est nécessaire d'obturer le ou les passages pratiqués dans la deuxième couche afin de sceller la capsule hermétiquement en maintenant le microsystème dans une atmosphère inerte ou réductrice à l'intérieur de la capsule.

[0023] On comprend par métal également tous les alliages métalliques dépendant d'un métal particulier.

[0024] Cette technique d'électrodéposition permet d'avoir une encapsulation de haute qualité et à faible coût pour les microsystèmes.

[0025] Un autre avantage du procédé de l'invention est qu'il permet d'éviter de devoir protéger le microsystème pour la réalisation subséquente du circuit intégré à ses côtés comme décrit dans le document US 5798283. Dans le cas par exemple d'un microcontacteur, ces étapes d'encapsulation se font même à température ambiante.

[0026] Dans une phase préliminaire du procédé, on peut par exemple réaliser sur un substrat, dont au moins la surface est isolante, des bandes conductrices pour la connexion électrique du microsystème vers l'extérieur, une isolation de la partie médiane des bandes et une métallisation de surface connectant une extrémité des bandes et passant également au-dessus de l'isolation des bandes. Egalement dans cette première phase du procédé, le microsystème à encapsuler est monté sur le substrat. Dans une deuxième phase, il est formé la capsule métallique avec la fermeture de ses orifices. Le découpage du substrat peut être exécuté par la suite pour obtenir une multitude de microsystèmes encapsulés.

[0027] L'invention sera mieux comprise en regard des dessins montrant des exemples de réalisation non limitatifs du procédé objet de l'invention sur lesquels :

la figure 1a montre la première phase du procédé selon l'invention avec une partie d'un substrat sur lequel on a réalisé des bandes conductrices avec isolation, une couche d'accrochage et un microsystème,

la figure 1b montre la première phase du procédé selon l'invention avec une partie d'un substrat sur lequel on a réalisé des bandes conductrices avec isolation, une couche d'accrochage avec des plots de soudure et un microsystème,

les figures 2a et 2b montrent en vue de dessus et en coupe selon II-II le dépôt d'une couche métallique sacrificielle sur le microsystème et sur la couche d'accrochage selon une première forme d'exécution,

les figures 3a et 3b montrent en vue de dessus et en coupe selon III-III le dépôt d'une deuxième couche métallique par-dessus la couche sacrificielle qui est constituée d'un métal différent et selon une première forme d'exécution,

les figures 4a et 4b montrent en vue de dessus et en coupe selon IV-IV le retrait de la couche sacrificielle par gravure chimique au travers des passages de la capsule ainsi réalisée selon une première forme d'exécution,

les figures 5a, 5b et 5c montrent en vue de dessus et en coupe selon V-V la fermeture des passages de la capsule métallique de façon à encapsuler hermétiquement le microsystème selon une première forme d'exécution,

les figures 6a et 6b montrent en vue de dessus et en coupe selon VI-VI le dépôt d'une couche sacrificielle sur le microsystème et sur la couche d'accrochage qui comprend des plots de soudure selon une deuxième forme d'exécution,

les figures 7a, 7b et 7c montrent en vue de dessus et en coupe selon VII-VII et VIII-VIII le dépôt d'une deuxième couche métallique par-dessus la couche sacrificielle qui est constituée d'un métal différent selon une deuxième forme d'exécution,

la figure 8 montre une coupe selon VII-VII de la figure 7a après le retrait de la couche sacrificielle par gravure chimique par les passages de la deuxième couche selon une deuxième forme d'exécution,

la figure 9 montre une coupe selon VII-VII de la figure 7a de la fermeture des passages de la capsule métallique du microsystème selon une deuxième forme d'exécution,

la figure 10 montre en coupe verticale le dépôt d'une couche sacrificielle sur le microsystème et sur la couche d'accrochage selon une troisième forme d'exécution,

la figure 11 montre en coupe verticale les dépôts d'une deuxième et troisième couche métallique sur la couche sacrificielle selon une troisième forme d'exécution,

la figure 12 montre en coupe verticale le dépôt d'une quatrième couche métallique du même métal que la deuxième couche sur la troisième couche métallique selon une troisième forme d'exécution,

la figure 13 montre en coupe verticale le retrait de la couche sacrificielle par gravure chimique par les passages de la deuxième couche selon une troisième forme d'exécution,

la figure 14 montre en coupe verticale l'apport de gouttes de soudure sur les passages de la deuxième couche pour la fermeture de la capsule métallique selon une troisième forme d'exécution,

la figure 15 montre en coupe verticale la fermeture de la capsule métallique avec les gouttes de soudure solidifiées selon une troisième forme d'exécution,

les figures 16a, 16b et 16c montrent en vue de dessus et en coupe selon XVI-XVI et XVII-XVII le dépôt d'une couche métallique sacrificielle sur le microsystème et sur la couche d'accrochage et passant autour de plots de soudure de la couche d'accrochage selon une quatrième forme d'exécution,

la figure 17 montre en coupe selon XVI-XVI de la figure 16a le dépôt d'une deuxième couche métallique sur la couche sacrificielle et sur les plots de soudure de la couche d'accrochage selon une quatrième forme d'exécution,

la figure 18 montre en coupe selon XVI-XVI de la figure 16a le retrait de la couche sacrificielle par les passages de la deuxième couche entre les plots de soudure selon une quatrième forme d'exécution,

la figure 19 montre en coupe selon XVI-XVI de la figure 16a la fermeture de la capsule métallique par chauffage des plots de soudure selon une quatrième forme d'exécution,

les figures 20a et 20b montrent en vue de dessus et en coupe selon XX-XX le retrait de la couche sacrificielle au travers d'une multitude de passages dans la deuxième couche selon une cinquième forme d'exécution, et

la figure 21 montre en coupe selon XX-XX de la figure 20a la fermeture de la capsule métallique par une lame de fluide de soudure selon une cinquième forme d'exécution.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

[0028] Les figures 1 à 5 montrent les différentes étapes de l'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes selon une première forme d'exécution du procédé de l'invention. A titre de simplification, un seul microsystème est représenté sur lesdites figures, alors qu'en réalité plusieurs microsystèmes sont montés sur un substrat commun afin d'être encapsulés en même temps.

[0029] Aux figures 1a et 1b, on observe une partie d'un substrat 1, qui peut être entièrement isolant comme une plaque de verre ou de céramique, ou un substrat, par exemple en silicium, dont la surface est oxydée pour être isolante. Les dimensions du substrat peuvent être celles d'un substrat de silicium sur lequel on conçoit des circuits intégrés, par exemple de 6 pouces (152,4 mm). Cette partie du substrat visible aux figures 1a et 1b correspond aux dimensions pour un des microsystèmes réalisés en commun sur le même substrat.

[0030] Dans une première phase du procédé vue aux figures 1a et 1b, une couche conductrice est déposée tout d'abord sur la surface isolante du substrat 1 et est structurée de façon à former des bandes conductrices 2. Une couche isolante 3 est ensuite déposée uniquement sur la partie médiane des bandes conductrices 2 pour former ainsi des passages électriques isolés. Finalement, une couche métallique d'accrochage 4 est déposée sur le substrat en passant sur la couche d'isolation 3 afin de donner une métallisation de surface apte à définir des bornes électriques 5 reliées uniquement à une des extrémités des bandes conductrices pour la connexion électrique du microsystème après sciage du substrat. Cette couche d'accrochage est apte à supporter la construction du microsystème et de la capsule. Elle forme finalement un plan conducteur pour les étapes de dépôt électrolytique qui permettent d'obtenir des couches métalliques d'épaisseur importante.

[0031] La couche conductrice constituant les bandes conductrices 2 doit avoir une bonne adhérence sur le substrat et permettre une bonne adhérence de la couche isolante subséquente 3. Elle doit également être compatible avec la couche métallique d'accrochage 4 et posséder une faible résistance électrique à l'interface. Il est important que les bords d'attaque ne possèdent pas de pente négative, ou ne forment pas une corniche, cela afin que la couche d'isolation les recouvre parfaitement. Les bandes conductrices 2 peuvent être en matériau tel que l'aluminium, l'or, le titane, le cuivre, le chrome, le tungstène ou l'alliage titane-tungstène. Ces bandes sont utiles pour la connexion électrique externe du microsystème après son encapsulation.

[0032] La couche d'isolation doit avoir une bonne adhérence sur le substrat isolant 1 et sur les bandes conductrices 2, par exemple comme une couche d'oxyde

de silicium ou de nitrure Si_3N_4 . De plus, elle doit contenir peu de tensions internes, posséder un coefficient de dilatation proche de celui du substrat et recouvrir parfaitement les bords d'attaque des bandes conductrices.

[0033] La couche métallique d'accrochage 4 doit bien adhérer sur le substrat 1 et la couche d'isolation 3. On peut la réaliser comme le document CH 688213 le spécifie, c'est-à-dire en faisant d'abord un dépôt de titane ou de chrome qui est ensuite recouvert d'or qui sert de protection d'oxydation. Cette deuxième couche métallique sert de surface de base métallique pour le dépôt par voie galvanique des couches métalliques subséquentes. Les produits de gravure chimique pour structurer ces premières couches métalliques sont connus et ne seront de ce fait pas explicités. Une zone annulaire 7a est montrée en traits interrompus sur les figures 1a et 1b pour montrer l'endroit du dépôt d'une couche métallique subséquente.

[0034] Au cas où de la soudure est employée sur la couche d'accrochage, il est nécessaire de prévoir une couche de base de la couche d'accrochage faite de trois niveaux métalliques. Le premier niveau métallique est composé de titane ou de chrome et permet d'accrocher au substrat. Le deuxième niveau métallique est composé de nickel ou de palladium ou de rhodium ou de ruthénium ou de platine ou de molybdène ou d'un autre matériau afin de servir de barrière de diffusion s'il y a de la soudure. Enfin le troisième niveau métallique est composé d'or pour servir de protection d'oxydation, notamment du premier niveau métallique.

[0035] A la figure 1b, des plots de soudure 13 en alliage d'or et d'étain (Au-Sn) ou en alliage d'étain et de plomb (Sn-Pb) peuvent faire également partie de la couche d'accrochage à des endroits déterminés afin de servir comme on le verra plus loin à une meilleure fermeture des passages pratiqués dans la capsule métallique lors de la thermocompression de parties de la capsule sur lesdits plots. L'alliage d'or et d'étain est constitué, en masses, de 20% d'étain et 80% d'or, tandis que l'alliage d'étain et de plomb est constitué, en masses, de 60% d'étain et 40% de plomb.

[0036] Dans des formes d'exécution non représentées sur des figures, en lieu et place des bandes conductrices 2, on aurait pu réaliser des trous conducteurs traversant des parties isolantes du substrat ou le substrat s'il est entièrement isolant tel qu'une plaque en verre ou en céramique, ou des trous conducteurs isolés dans un substrat conducteur. D'un côté du substrat ces trous connectent le microsystème 6 et de l'autre côté ils sont reliés électriquement à des plages métalliques permettant de connecter le microsystème à l'extérieur une fois qu'il est encapsulé.

[0037] Il est clair que l'étape d'isolation 3 des bandes conductrices 2 n'entre pas en ligne de compte si l'on a pratiqué des trous conducteurs au travers du substrat comme dans la forme d'exécution indiquée ci-dessus.

[0038] Dans le cas où les bandes conductrices 2 sont remplacées par les trous conducteurs, notamment des

trous métallisés, la couche d'accrochage n'est plus structurée pour définir des pistes métalliques avec des plages métalliques de connexion électrique du microsystème du fait que ces plages sont réalisées au dos du substrat. Il suffit que cette couche d'accrochage entoure chaque microsystème pour le dépôt par voie électrolytique des couches métalliques de réalisation de la capsule.

[0039] Au cas où un substrat en silicium est employé comme support pour les microsystèmes, les bandes conductrices déposées sur le substrat peuvent être remplacées par des passages conducteurs dans le silicium. Ces passages sont réalisés par une étape de diffusion avec un dopant de type p dans un substrat de type n ou avec un dopant de type n dans un substrat de type p. La connexion métallique de chaque extrémité desdits passages conducteurs est réalisée à travers des fenêtres pratiquées sur une isolation en oxyde de silicium. Un avantage de cette réalisation est qu'elle assure une protection électrostatique.

[0040] Le microsystème 6, qui peut être par exemple un contacteur « reed », est construit ou monté sans endommager les couches précédentes déjà déposées. Pour la construction d'un contacteur avec ces lames métalliques, on utilise également des techniques de dépôt électrolytique, par exemple en structurant les niveaux métalliques en plusieurs étapes à l'aide de photorésist et des masques pour les illuminer, comme décrit dans le document CH 688213. Le microsystème ainsi réalisé est connecté à une extrémité des bandes conductrices 2 ou à des trous conducteurs.

[0041] A la place d'une réalisation in situ desdits microsystèmes, on peut prévoir de les fabriquer à part et ensuite de les fixer chacun sur un même substrat en connexion électrique à une extrémité des bandes conductrices ou des trous conducteurs prévus à cet effet.

[0042] Aux figures 2a et 2b, une première couche métallique d'enrobage sacrificielle 7, notamment en cuivre ou en alliage de cuivre, est déposée notamment par voie électrolytique sur les microsystèmes et en débordant sur des zones annulaires 7a, visibles aux figures 1a et 1b, autour de chaque microsystème de façon à ce que la première couche enrobe complètement chaque microsystème. Etant donné que la couche d'accrochage métallique n'est pas dissociée d'un microsystème à l'autre, elle peut être utilisée pour le dépôt électrolytique des diverses parties de la première couche enrobant tous les microsystèmes en la connectant à un endroit du substrat à un pôle d'une source d'alimentation. Dans cette réalisation, une ou deux ouvertures 8 sont également prévues dans chaque zone annulaire, donnant accès à la couche d'accrochage 4 pour servir à la formation d'un ou de deux piliers métalliques de soutien lors du dépôt de la couche métallique suivante.

[0043] Cette première couche sacrificielle 7 est composée d'un métal, tel que du cuivre ou un alliage de cuivre, qui peut être dissous sélectivement par rapport aux autres couches métalliques qui sont constituées de mé-

taux différents. Elle doit contenir peu de tensions internes et présenter une bonne caractéristique de nivelage.

[0044] Pour le dépôt électrolytique de cette couche sacrificielle, on revêt tout d'abord les microsystèmes et la couche d'accrochage d'une couche de photorésist. On illumine le photorésist au travers d'un masque, et on retire par développement les parties du photorésist qui ont été illuminées ou non illuminées suivant le type de photorésist, pour pouvoir libérer chaque microsystème ainsi qu'une zone annulaire de la couche d'accrochage autour de chaque microsystème afin de déposer la première couche métallique. Par la suite on retire le reste de photorésist pour avoir accès à la couche d'accrochage autour de l'enrobage de chaque microsystème et par les ouvertures pratiquées dans la première couche. Une partie de la zone annulaire de la couche d'accrochage est située au-dessus de l'isolation 3 des bandes conductrices de façon que le dépôt de la couche métallique sacrificielle court-circuite uniquement les extrémités des bandes connectant les microsystèmes.

[0045] Pour la création de ces dômes métalliques enrobant chaque microsystème, on peut prévoir de déposer la couche métallique par un procédé autre que la voie électrolytique, par exemple par évaporation thermique ou par pulvérisation cathodique sans devoir dépasser la limite de température de 350°C, mais ces autres procédés sont plus longs et donc plus coûteux.

[0046] Les ouvertures 8 de la première couche métallique visibles aux figures 2a et 2b sont entourées complètement par la première couche, mais il est bien entendu qu'on aurait pu les concevoir prenant naissance depuis un bord de ladite première couche pour donner l'aspect vu en plan d'une ouverture en forme de U. L'homme du métier saura trouver toute forme d'ouvertures permettant la création de piliers ou de renforts lors du dépôt de la deuxième couche métallique.

[0047] Aux figures 3a et 3b, on réalise la capsule métallique en déposant par voie électrolytique une deuxième couche métallique 9 sur la première couche métallique sacrificielle 7 et sur la couche d'accrochage 4 ou sur des zones annulaires de la couche d'accrochage entourant la première couche, ladite deuxième couche 9 étant constituée d'un autre métal, tel que de préférence de l'or ou un alliage d'or, ou éventuellement du chrome ou un alliage de chrome. Un ou deux passages 10 en opposition sont prévus dans ladite deuxième couche 4 pour donner accès à la première couche sacrificielle 7 afin de la dissoudre sélectivement par rapport aux autres couches métalliques. Lesdits passages 10 sont montrés de forme oblongue, mais il est bien clair qu'ils pourraient être également de forme circulaire ou carrée.

[0048] Chaque pilier 14 ou renfort de soutien réalisé par le dépôt de cette deuxième couche 9 est disposé entre un des passages 10 et le microsystème 6 correspondant. Cette capsule présente de ce fait une fermeture hermétique sur sa périphérie à l'exception des deux passages 10, ainsi que les deux piliers de soutien 14 pour pouvoir contenir toute déformation qui pourrait être

provoquée lors de la fermeture finale des passages de la capsule. Ledit métal de la capsule doit en outre être malléable et contenir peu de tensions internes et présenter une bonne caractéristique de recouvrement ainsi qu'une très faible porosité.

[0049] Les piliers de soutien 14 sont entourés par la première couche sacrificielle 7 afin de permettre le retrait de cette couche par un liquide de gravure chimique, comme expliqué avec les figures 4a et 4b suivantes, en passant à côté desdits piliers 14. Bien entendu, il suffit que la première couche passe au moins d'un côté de chaque pilier ou renfort, comme expliqué ci-dessus pour la réalisation desdites ouvertures, pour pouvoir retirer cette couche lors de la gravure chimique.

[0050] Bien qu'un seul passage 10 et un seul pilier de soutien 14 puissent être envisagés pour la réalisation de la capsule, il est préférable d'avoir deux ou plusieurs passages pour le retrait de la couche sacrificielle 7; en ayant par exemple deux passages 10 en opposition, cela facilite le retrait de la couche sacrificielle et le nettoyage de l'intérieur de la capsule par circulation des solutions de traitement.

[0051] Comme expliqué en référence aux figures 2a et 2b à propos du dépôt de la première couche métallique 7, on utilise également une couche de photorésist, non représentée, qu'on illumine à travers un masque pour pouvoir retirer des parties de photorésist afin d'avoir accès à la première couche et à des zones annulaires de la couche d'accrochage autour de chaque partie de la première couche. Les zones annulaires sont situées au-dessus de l'isolation 3 et sans contact avec l'extrémité des bandes conductrices 2 pour la connexion électrique externe des microsystèmes 6.

[0052] Bien entendu, si on utilise des trous conducteurs à travers le substrat 1 pour la connexion externe des microsystèmes 6, le dépôt de la deuxième couche métallique 9 peut se faire au-delà des zones annulaires sur toute la surface du substrat tout en gardant la réalisation des passages 10 pour donner accès à la couche sacrificielle 7.

[0053] Aux figures 4a et 4b, la couche d'enrobage sacrificielle 7 est dissoute par gravure chimique au travers des deux passages 10 de façon sélective sans toucher les métaux du microsystème 6, par exemple le fer et le nickel. Le bain de dissolution ne doit occasionner aucun dommage au microsystème 6 ou à la capsule métallique 9 que ce soit par gravure chimique ou par réaction violente avec la couche d'enrobage sacrificielle 7. Il ne doit en outre subsister aucun résidu à l'intérieur de la capsule métallique, au risque de dégazer après la fermeture finale de celle-ci.

[0054] Aux figures 5a et 5b, les microsystèmes 6 encapsulés sont encore solidaires du substrat. Dans cette étape, on doit refermer les passages 10 de la capsule métallique dans une atmosphère inerte ou réductrice. On approche un outil adéquat 12 qui balaye l'intérieur de ladite capsule 9 avec un gaz de protection. Une fois que la capsule est nettoyée de son atmosphère d'origine,

l'outil effectue une compression des parties 11 autour de chaque passage 10 et ensuite une opération de soudage par thermocompression ou par ultrasons des parties 11 sur la couche de base de la couche d'accrochage 4 pour pouvoir fermer de façon étanche la capsule métallique. Les piliers de soutien 14, dans cette opération, servent à empêcher que la déformation se propage en direction du microsystème 6. La capsule métallique 9 forme ainsi une protection hermétique au-dessus du microsystème 6.

[0055] A la figure 5c, pour diminuer l'énergie nécessaire à la fermeture de la capsule, il est prévu des plots de soudure 13 faisant partie de la couche d'accrochage, comme décrit ci-dessus. La thermocompression des parties 11 autour des passages 10 de la couche métallique 9 sur lesdits plots de soudure assure la fonte desdits plots et la fermeture étanche des passages 10.

[0056] L'étape finale, non représentée sur les figures, consiste à séparer par découpage du substrat la multitude de microsystèmes encapsulés, afin de pouvoir les utiliser par exemple dans des conditions ambiantes habituelles, ou encore on peut prévoir d'enrober avant ou après le découpage chaque microsystème d'une couche de résine afin d'assurer une meilleure protection mécanique.

[0057] Si la couche métallique finale 9 était du chrome, on pourrait éviter de créer des piliers de soutien, car étant donné que le chrome n'est pas ductile, on doit éviter de le déformer lors de la fermeture des passages 10. Dans ce cas, il serait possible de refermer de façon étanche chaque capsule métallique en déposant une goutte de soudure sur chaque passage à solidifier. Néanmoins, l'or ou l'alliage d'or se prête mieux à la réalisation de la capsule, car il est ductile et résiste à différents liquides de gravure chimique.

[0058] Le microsystème 6 construit sur la plaque ou substrat isolant, qui peut être une couche d'oxyde de silicium réalisée sur une plaque de silicium, est d'une hauteur totale de l'ordre de 50 µm avant son encapsulation finale. La hauteur totale lorsque la capsule métallique est terminée sur le microsystème est de l'ordre de 100 µm, voire de 150 µm max. avec une épaisseur métallique de la capsule de l'ordre de 15 à 20 µm. On réalise donc des composants compacts par le procédé objet de l'invention.

[0059] Dans le cas d'une conception de toutes les étapes du procédé sur une seule face, on peut imaginer encore après la réalisation de l'encapsulation de réduire l'épaisseur du substrat par attaque chimique du dos du substrat et avant sa découpe. Pour cela, on doit prendre les précautions qui s'imposent de façon à ne pas endommager le côté du substrat portant les microsystèmes encapsulés. Toutefois, si le substrat est mince dès le départ, cela évite de devoir réduire son épaisseur en fin de procédé d'encapsulation.

[0060] Grâce à la technique de dépôt par voie électrolytique, on peut déposer des couches de métaux d'épaisseur plus importante, ce qui est difficilement réa-

lisable par évaporation thermique ou par pulvérisation cathodique. Cette technique d'électrodéposition permet une réalisation moins chère et plus rapide pour de telles épaisseurs même si de l'or est utilisé pour la réalisation de la capsule, car la conception selon l'art antérieur d'une plaque de verre indépendante du substrat dans laquelle on pratique des évidements pour y placer ou construire, puis enfermer les microsystèmes occasionne plus de temps et de frais.

10 [0061] Les figures 6 à 9 montrent des étapes de l'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes selon une deuxième forme d'exécution du procédé de l'invention. Il est à noter que les éléments de ces figures, qui correspondent à ceux des figures 1 à 5, portent des signes de référence identiques.

15 [0062] Aux figures 6a et 6b sur lesquelles les bandes conductrices et la couche d'isolation n'ont pas été montrées, une première couche métallique sacrificielle 7, notamment en cuivre ou en alliage de cuivre, est déposée notamment par voie électrolytique sur une zone annulaire de la couche d'accrochage 4 et sur le microsystème 6 pour l'enrober complètement. Deux prolongements 15 de la couche sacrificielle 7, de largeur inférieure à celle enrobant le microsystème 6, passent au-dessus des plots de soudure 13 de la couche d'accrochage 4. Ces deux prolongements 15, servant à la création des passages de la deuxième couche métallique expliquée ci-dessous, sont disposés, ainsi que les deux plots de soudure 13, sur deux côtés opposés de la couche sacrificielle 7.

30 [0063] Aux figures 7a et 7b, une deuxième couche métallique 9, notamment en or ou en alliage d'or, est déposée par voie électrolytique sur la couche sacrificielle 7 et sur des parties de la couche d'accrochage. Cette couche 9 définit en vue de dessus une forme rectangulaire s'arrêtant au niveau de l'extrémité de chaque prolongement 15 afin de ne pas les recouvrir complètement et ainsi créer des passages 10 grâce auxdits prolongements 15 sortant de la deuxième couche 9.

40 [0064] A la figure 7c, on peut voir en coupe selon la ligne VIII-VIII de la figure 7a la superposition des différentes couches. Sur le substrat isolant 1, la couche métallique d'accrochage 4 comprend les plots de soudure 13 constitués notamment d'un alliage d'or et d'étain. Au-dessus du plot de soudure 13 passe le prolongement 15 de la couche sacrificielle. La deuxième couche métallique 9 passe au-dessus de la couche sacrificielle et est reliée également de chaque côté du prolongement 15 au plot de soudure 13.

50 [0065] La figure 8 montre le retrait de la couche sacrificielle à l'aide d'un liquide de gravure chimique à travers des passages 10 obtenus par les prolongements de la couche sacrificielle débouchant hors de la deuxième couche. Après ce retrait, le microsystème 6 est libre à l'intérieur de la capsule métallique 9.

55 [0066] La figure 9 montre la fermeture de la capsule 9 à l'aide d'un outil 12 pressant des parties de la deuxième couche 9 se trouvant sur les plots de soudure 13.

Lors de la compression de ces parties, les plots de soudure 13 sont chauffés pour être fondus et ainsi obturer les passages 10. Etant donné que les passages sont de taille réduite sur deux côtés renforcés de la deuxième couche 9, il n'est plus nécessaire de prévoir des piliers de renfort comme pour la première forme d'exécution, car la compression des parties délimitant les passages 10 n'endommagera pas le microsystème 6.

[0067] Les figures 10 à 15 montrent des étapes de l'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes selon une troisième forme d'exécution du procédé de l'invention. Il est à noter que les éléments de ces figures, qui correspondent à ceux des figures 1 à 5, portent des signes de référence identiques.

[0068] La figure 10 montre le dépôt notamment par voie électrolytique d'une couche métallique sacrificielle 7, notamment en cuivre ou en alliage de cuivre, sur une zone annulaire de la couche d'accrochage métallique 4 entourant le microsystème 6 et sur ledit microsystème afin de l'enrober complètement. Bien qu'électriquement reliée, la couche sacrificielle 7 déposée sur le microsystème 6 n'est pas contiguë à la couche sacrificielle d'un microsystème voisin sur le même substrat 1, car elle n'est déposée que sur une zone annulaire autour du microsystème respectif.

[0069] La figure 11 montre les dépôts successifs par voie électrolytique d'une deuxième couche métallique 9, notamment en or ou en alliage d'or, et d'une troisième couche métallique 16, notamment en cuivre ou en alliage de cuivre comme la couche sacrificielle, au-dessus de la couche sacrificielle 7 et sur une zone annulaire entourant la couche sacrificielle 7. Deux passages 10 sont pratiqués dans les deux couches 9 et 16 pour donner accès à la couche sacrificielle 7. La forme des passages pourrait être oblongue ou circulaire ou carrée.

[0070] Un même couche de photorésist est utilisée pour les deux dépôts successifs de métaux. La deuxième couche métallique 9 a une faible épaisseur de l'ordre de 0,5 μm , alors que la troisième couche métallique 16 a une épaisseur de l'ordre de 20 μm pour que la capsule métallique finale résiste aux contraintes mécaniques. Cela permet de réaliser une capsule suffisamment épaisse et de faire des économies étant donné que la deuxième couche est de préférence en or ou en alliage d'or.

[0071] Comme la troisième couche 16 est réalisée de préférence d'un même métal que la couche sacrificielle afin d'utiliser les mêmes bains d'électrolyte, il est nécessaire de la protéger d'un liquide de gravure chimique. Pour cela, comme montré en figure 12, une quatrième couche métallique 17 d'un métal identique à la deuxième couche est déposée sur la troisième couche et sur une zone annulaire l'entourant, et vient se connecter à la deuxième couche tout en laissant les passages 10 libres. La troisième couche est de ce fait entièrement insérée entre les deuxième et quatrième couches métalliques et est ainsi protégée de tout liquide de gravure chimique pour le retrait de la couche sacrificielle 7.

L'épaisseur de la quatrième couche est de l'ordre de 0,5 μm .

[0072] La figure 13 montre le retrait de la couche sacrificielle 7 par un liquide de gravure chimique passant à travers des passages 10 où la troisième couche a été protégée par les deuxième et quatrième couches.

[0073] Aux figures 14 et 15 après le retrait de la couche sacrificielle, le microsystème 6 est libre de mouvements dans la capsule, par exemple dans le cas de lames métalliques d'un contacteur. Des gouttes de soudure 18 sont alors amenées par un outil non représenté sur chaque passage 10 dans le sens de la flèche f et sont solidifiées afin d'obturer les passages et de fermer hermétiquement la capsule.

[0074] Les figures 16 à 19 montrent des étapes de l'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes selon une quatrième forme d'exécution du procédé de l'invention. Il est à noter que les éléments de ces figures, qui correspondent à ceux des figures 1 à 5, portent des signes de référence identiques.

[0075] Aux figures 16a, 16b et 16c, une série de plots de soudure 13 de la couche d'accrochage 4 ont été réalisés autour du microsystème 6 dans une étape précédente du procédé, ainsi que des éléments de guidage 20 placés en direction des coins du microsystème et à l'intérieur de la série de plots de soudure. Ces éléments de guidage 20 sont constitués d'un métal différent des plots de soudure 13 et de la couche sacrificielle 7 pour supporter notamment des températures supérieures aux plots de soudure 13. Ils sont utilisés pour le guidage de la deuxième couche 9 lors de la fermeture de la capsule comme discuté plus loin.

[0076] Lesdits plots peuvent être espacés régulièrement sur toute la périphérie du microsystème sans être en contact direct avec ledit microsystème 6. Une couche sacrificielle 7 est déposée par voie électrolytique sur le microsystème 6 et sur une zone annulaire de la couche d'accrochage 4 sans passer par-dessus lesdits plots de soudure 13 grâce à un masquage par photorésist. Par contre, des parties 19 de la couche sacrificielle sont disposées dans les espaces entre les plots de soudure afin de pouvoir créer des passages dans la deuxième couche métallique, comme on peut bien le remarquer à la figure 16c qui est une coupe selon la ligne XVII-XVII de la figure 16a.

[0077] A la figure 17, une deuxième couche métallique 9 est déposée par voie électrolytique sur la couche sacrificielle 7 et sur les plots de soudure 13. La deuxième couche ne vient pas en contact avec la couche de base de la couche d'accrochage 4, car elle ne s'étend pas au-delà du pourtour de la couche sacrificielle 7. Elle laisse de ce fait les parties 19 de la couche sacrificielle émerger de la deuxième couche métallique 9 afin de pouvoir définir des passages 10, visibles en figure 18, dans les espaces entre les plots de soudure 13.

[0078] A la figure 18, la couche sacrificielle 7 a été retirée à l'aide d'un liquide de gravure chimique par les parties 19, c'est-à-dire par les passages 10 de la deuxième

me couche 9. Cette deuxième couche 9 apparaît après le retrait de la couche sacrificielle comme un toit prenant appui sur la série de plots de soudure 13 et abritant le microsystème 6.

[0079] La fermeture hermétique de la capsule métallique est montrée en figure 19. Le substrat 1 avec tous les microsystèmes sous leur capsule est placé dans un four pour amener un front de chaleur 21 vers les plots de soudure 13 pour les faire fondre. Dès que les plots de soudure 13 fondent, la capsule 9 s'abaisse dans la direction v par son propre poids et par capillarité pour fermer hermétiquement la microsystème en obturant tous les passages. Comme lors de la fonte des plots de soudure 13, la capsule n'a plus de point d'appui fixe, il se peut qu'elle se déplace dans une direction horizontale et vienne en contact avec le microsystème. Les éléments de guidage 20 montrés au nombre de quatre sur les figures 16 à 19 sont donc prévus pour empêcher que la capsule ne se déplace trop dans la direction horizontale et vienne se fixer sur la couche d'accrochage à l'aide des plots de soudure 13 à un endroit pouvant perturber le bon fonctionnement du microsystème 6.

[0080] La forme de bâtonnet donné à titre illustratif dans les figures 16 à 19 pour les éléments de guidage 20 n'est pas limitative, car ces éléments pourraient prendre d'autres formes. On peut par exemple n'employer que deux éléments de guidage 20 disposés près de deux coins opposés du microsystème 6. La forme de ces deux éléments peut être cylindrique ou en forme de L. Bien entendu, l'emploi de ces éléments de guidage n'est pas obligatoire, si l'on arrive à assurer que la descente de la deuxième couche 9 se fasse exclusivement de manière verticale.

[0081] Comme les plots de soudure 13 sont en alliage d'or et d'étain ou en alliage d'étain et de plomb et que la deuxième couche 9 venant en appui sur lesdits plots est en or ou en alliage d'or, il y a un risque de diffusion de l'alliage des plots dans la deuxième couche lors de leur fonte par le front de chaleur 21. De ce fait, cela risque de ne plus garantir un espace suffisant pour le microsystème par une quantité de matière fondue trop importante. Afin d'empêcher cette diffusion, il est connu de l'homme du métier de placer une barrière de diffusion entre les plots de soudure 13 et la deuxième couche 9.

[0082] Les figures 20 et 21 montrent deux dernières étapes de l'encapsulation hermétique in situ de microsystèmes selon une cinquième forme d'exécution du procédé de l'invention. Il est à noter que les éléments de ces figures, qui correspondent à ceux des figures 1 à 5, portent des signes de référence identiques.

[0083] Aux figures 20a et 20b, on peut observer la capsule métallique constituée par la deuxième couche 9, notamment en or ou en alliage d'or, avec la multitude de passages 10 pratiqués sur sa partie sommitale, par lesquels la couche sacrificielle a été retirée à l'aide d'un liquide de gravure chimique sélective. Cette capsule a été déposée sur une zone annulaire de la couche d'accrochage 4 autour du microsystème et enferme

sans contact ledit microsystème 6.

[0084] Les passages 10 sont de taille suffisamment petite pour pouvoir être placés sur la partie sommitale de la capsule et permettre de les obturer par une lame de soudure liquide 23 amenée par un outil cylindrique 22 rotatif et se déplaçant dans une direction h au-dessus du substrat 1, comme on peut le voir à la figure 21, ou par une vague continue de soudure. Grâce à l'effet de capillarité, la soudure liquide 23 va obturer lesdits passages 10 sans risque de venir en contact avec le microsystème 6.

[0085] L'outil cylindrique 22 comporte à l'intérieur un ou plusieurs conduits d'amenée du liquide de soudure 23, non visibles sur la figure 21, qui débouchent par des orifices rapprochés pratiqués sur le pourtour du cylindre afin de créer une lame de soudure liquide 23. La largeur de l'outil est telle qu'elle permet en un seul passage sur le substrat d'obstruer tous les passages 10 pratiqués dans la deuxième couche de tous les microsystèmes encapsulés. Il est à noter que la planéité des parties sommitales de la deuxième couche est de l'ordre de plus ou moins 10 µm, de sorte que l'outil peut sans trop de difficulté obturer tous les passages en une seule fois.

[0086] En lieu et place de l'outil rotatif 22 pour obstruer les passages 10, le substrat 1 portant tous les microsystèmes 6 encapsulés par la deuxième couche 9 pourrait être amené au-dessus d'un bain de soudure tout en garantissant de ne pas couvrir les plages de contact reliées aux bandes conductrices qui ont été expliquées aux figures 1 à 5. Pour cette opération, il est possible de laisser le photorésist utilisé pour la formation de la deuxième couche qui protège lesdites plages, ainsi que l'extrémité des bandes conductrices.

[0087] Dans cette cinquième forme d'exécution, les passages 10 sont disposés comme une grille sur la partie sommitale de la deuxième couche 9 à l'image de ce qui pourrait être réalisé à la connaissance de l'homme du métier avec une couche de polysilicium poreux. A titre de référence, on peut se reporter à l'article de la 12^e IEEE conférence internationale MEMS '99 du 17 au 21 janvier 1999, intitulé « Micro Electro Mechanical Systems » aux pages 470 à 475. Cette couche de polysilicium est employée dans certaines réalisations d'encapsulations de microsystèmes pour le retrait d'une couche sacrificielle par un liquide de gravure chimique passant par ledit polysilicium poreux.

[0088] Le procédé d'encapsulation qui vient d'être décrit aurait pu s'appliquer également pour l'encapsulation d'un unique microsystème monté sur un substrat, mais dans l'optique de réduire au maximum les coûts de fabrication dans ce domaine des dispositifs micrométriques, il est plus rentable d'encapsuler plusieurs microsystèmes sur un substrat commun en même temps.

[0089] D'autres variantes de réalisation ou combinaisons des formes d'exécution précédentes pour une encapsulation métallique hermétique de microsystèmes non explicitées ci-devant, mais à la portée de l'homme du métier, peuvent être encore imaginées sans sortir du

cadre de l'invention.

Revendications

1. Procédé d'encapsulation hermétique in situ de micro-systèmes, dans lequel dans une première phase on monte sur un substrat (1) commun plusieurs micro-systèmes (6) entourés par une couche métallique d'accrochage (4) déposée sur le substrat, caractérisé en ce que, dans une deuxième phase, on dépose dans une opération commune de dépôt une première couche métallique (7) sur chaque micro-système (6) et sur une zone annulaire (7a) de la couche d'accrochage (4) entourant chaque micro-système (6) de façon à recouvrir complètement chaque micro-système par débordement, en ce qu'on dépose une deuxième couche métallique (9) par voie électrolytique sur la première couche métallique (7) et sur la couche d'accrochage (4) de façon à recouvrir la première couche (7) sur une majeure partie de sa surface en laissant au moins un passage (10) par micro-système (6) dans la deuxième couche (9) pour donner accès à la première couche (7), le métal de la première couche étant différent des métaux de la couche d'accrochage, de la deuxième couche et du micro-système, en ce qu'on retire par gravure chimique sélective la première couche (7) au travers de chaque passage (10) de la deuxième couche (9), et en ce qu'on referme ensuite lesdits passages (10) pour obtenir des capsules métalliques enfermant hermétiquement chaque micro-système.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première couche (7) est déposée par voie électrolytique.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première couche (7) enrobant chaque micro-système comporte au moins deux ouvertures (8) disposées chacune entre le micro-système (6) et le passage (10) correspondant de la deuxième couche (9), et en ce que la deuxième couche (9) s'étend dans chacune des ouvertures (8) jusqu'à la couche d'accrochage (4) de façon à créer un pilier de soutien (14) de la deuxième couche (9) entre chaque passage (10) et le micro-système (6) correspondant.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits passages (10) sont formés au moyen de deux prolongements (15) en opposition de la première couche (7) pour chaque micro-système (6), lesdits prolongements (15) débouchant hors de la deuxième couche (9), dont la largeur ne varie pas entre lesdits prolongements (15) de manière à créer un renfort au niveau des passages (10).
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la deuxième couche (9) est déposée de manière à enfermer la première couche (7) à l'exception d'une multitude de passages (10) de dimension réduite disposée sur les parties sommitales de la deuxième couche (9) au-dessus de chaque micro-système.
6. Procédé selon l'une des revendications 3 et 5, caractérisé en ce que la fermeture des passages (10) disposés sur les parties sommitales de la deuxième couche s'opère en déposant une goutte de soudure (18) à solidifier sur chaque passage ou en faisant passer une lame de fluide de soudure (23) à solidifier pour obstruer tous lesdits passages (10).
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la fermeture des passages (10) s'opère en chauffant et comprimant des parties (11) de la deuxième couche (9) autour de chaque passage (10) et en les soudant sur la couche d'accrochage (4).
8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la couche d'accrochage (4) comprend des plots d'un métal de soudure (13) disposés sur une couche métallique de base de ladite couche d'accrochage (4) et aux endroits des passages (10) de la deuxième couche de façon à obturer lesdits passages (10) lors de la thermocompression des parties (11) de la deuxième couche.
9. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la deuxième couche prend appui sur des plots de métal de soudure (13) de la couche d'accrochage (4) répartis sur le périmètre de chaque zone annulaire entourant le micro-système (6) correspondant, et en ce qu'une partie de la première couche (7) est disposée entre des plots de métal voisins (13) pour déboucher hors de la deuxième couche (9) et pour définir plusieurs passages (10) de la deuxième couche (9) par micro-système (6).
10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la fermeture des passages (10) pour chaque micro-système (6) s'opère en chauffant les plots de métal de soudure (13) pour faire descendre la deuxième couche (9) au niveau d'une couche de base de la couche d'accrochage (4) et sceller hermétiquement les capsules sur les micro-systèmes (6).
11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que des éléments de guidage (20) des capsules sont fixés sur la couche d'accrochage (4) avant d'être enrobés par la première couche (7), lesdits éléments restant après le retrait de la première couche et servant à guider verticalement les capsules

lors de la descente de la deuxième couche (9) pour la fermeture des passages (10).

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le métal de la première couche (7) est du cuivre ou un alliage de cuivre, et en ce que le métal de la deuxième couche (9) est de l'or ou en alliage d'or.

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche métallique de base de la couche d'accrochage (4) est faite d'un premier niveau métallique d'accrochage sur le substrat en titane ou en chrome, d'un second niveau métallique en nickel ou en palladium ou en rhodium ou en ruthénium ou en molybdène ou en platine en tant que barrière de diffusion pour la soudure, et un troisième niveau métallique en or en tant que protection d'oxydation.

14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on dépose une troisième couche métallique (16) sur la deuxième couche (9) sans obstruer les passages (10) de la deuxième couche, en ce qu'on dépose une quatrième couche métallique (17) sur la troisième couche (16) afin d'enfermer complètement la troisième couche (16) entre la deuxième couche (9) et la quatrième couche (17) sans obstruer les passages (10) de la deuxième couche, le métal de la deuxième couche (9) étant le même que le métal de la quatrième couche (17), et en ce qu'on retire par gravure chimique sélective la première couche (7) au travers de chaque passage (10).

15. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, avant le montage des microsystèmes (6), des bandes conductrices (2) pour la connexion électrique externe de chaque microsystème (6) sont réalisées sur le substrat, en ce qu'une couche isolante (3) est déposée sur la partie médiane de la longueur des bandes (2), laissant libres leurs extrémités pour une connexion électrique, et en ce que la couche d'accrochage (4) est ensuite déposée de façon à passer sur l'isolation des bandes et structurée de façon à définir des pistes métalliques connectées à une des extrémités des bandes conductrices (2), l'autre extrémité des bandes étant connectée au microsystème (6) correspondant.

16. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, avant le montage des microsystèmes (6), on réalise une série de trous conducteurs à travers une partie isolante du substrat (1) pour la connexion électrique externe de chaque microsystème (6), et en ce que des plages métalliques sont connectées aux trous conducteurs sur la surface du substrat opposée aux microsystèmes (6).

17. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'après la fermeture des capsules, on les recouvre d'une couche de résine de protection.

18. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'après la fermeture des capsules métalliques, on découpe le substrat afin de séparer chaque microsystème (6) encapsulé ayant des plages de contact métalliques (5) accessibles extérieurement.

Fig. 1a

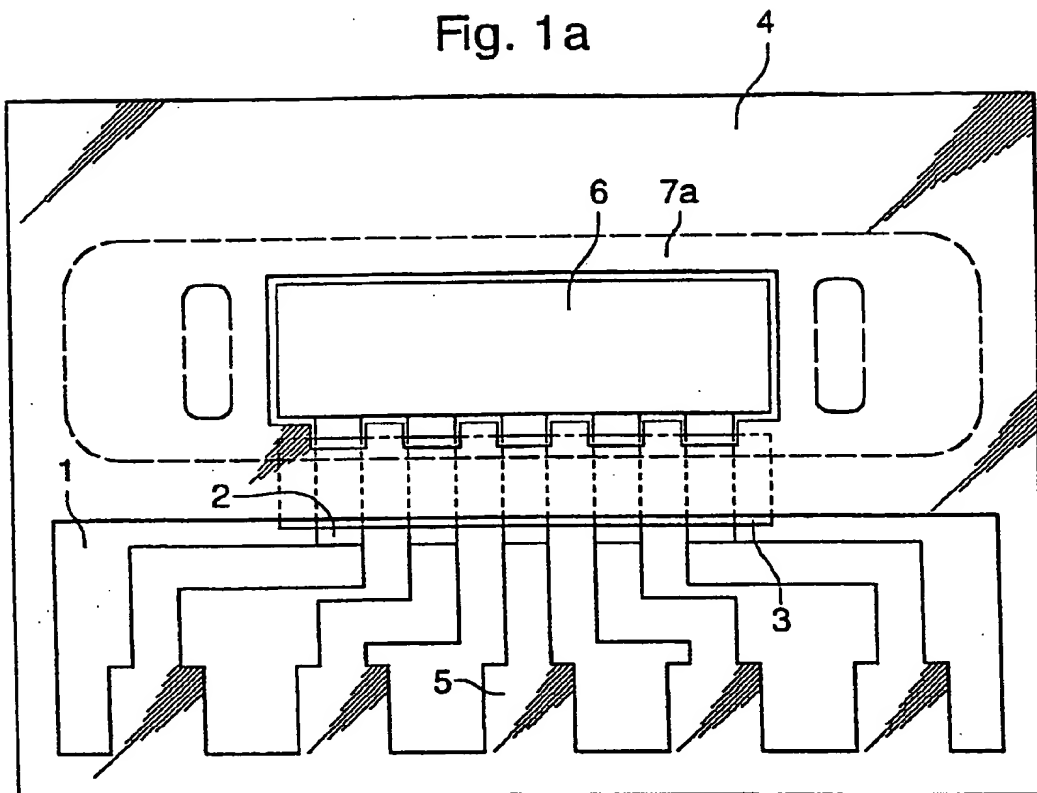


Fig. 1b

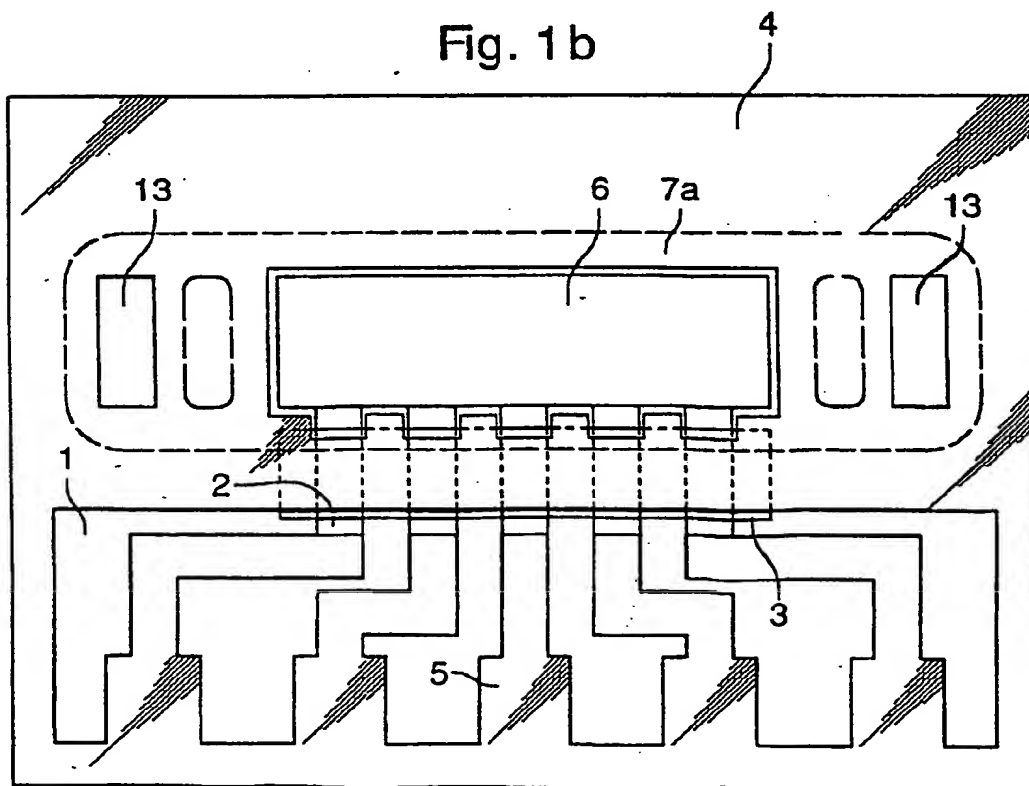


Fig. 2a

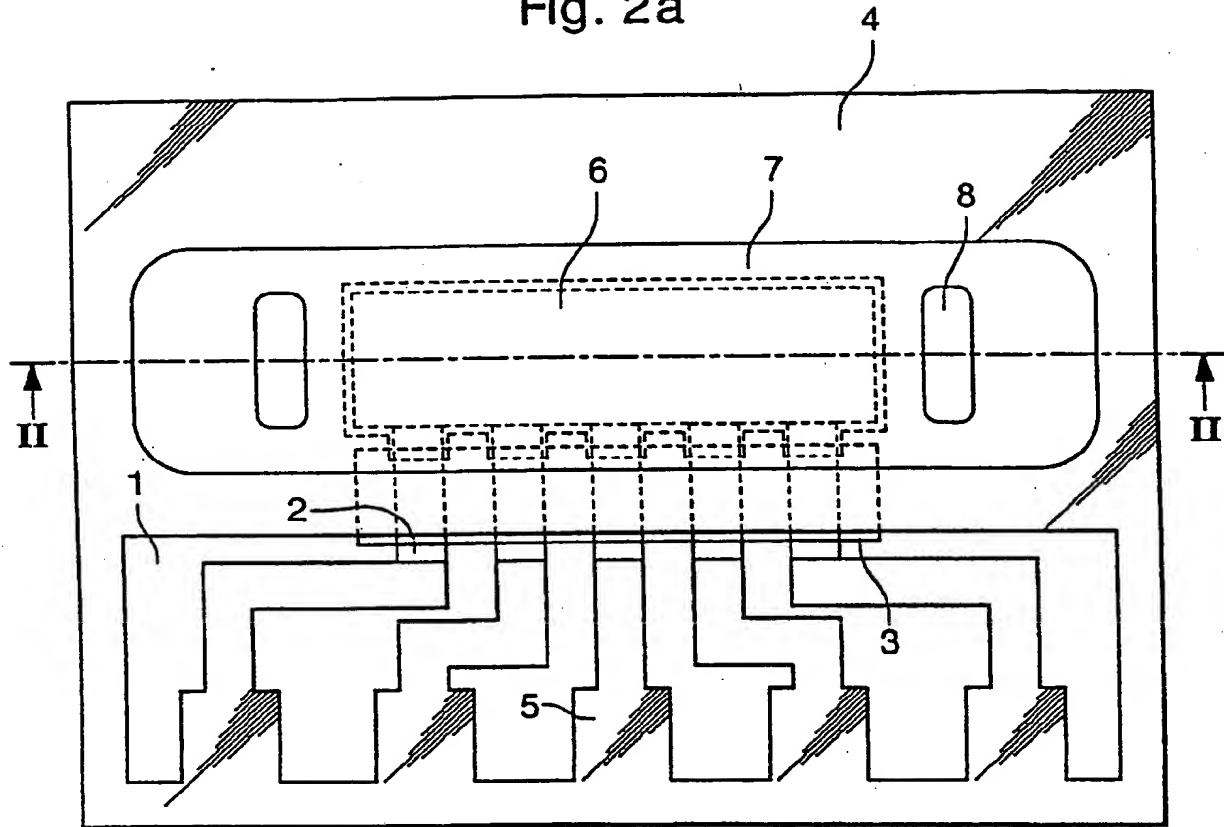


Fig. 2b

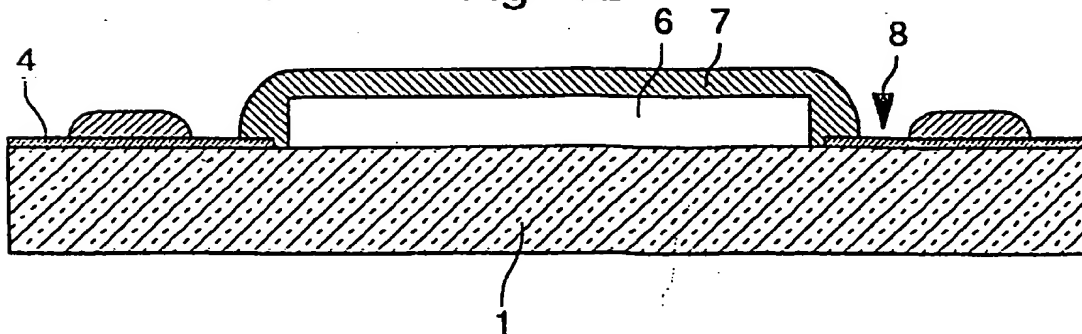


Fig. 3a

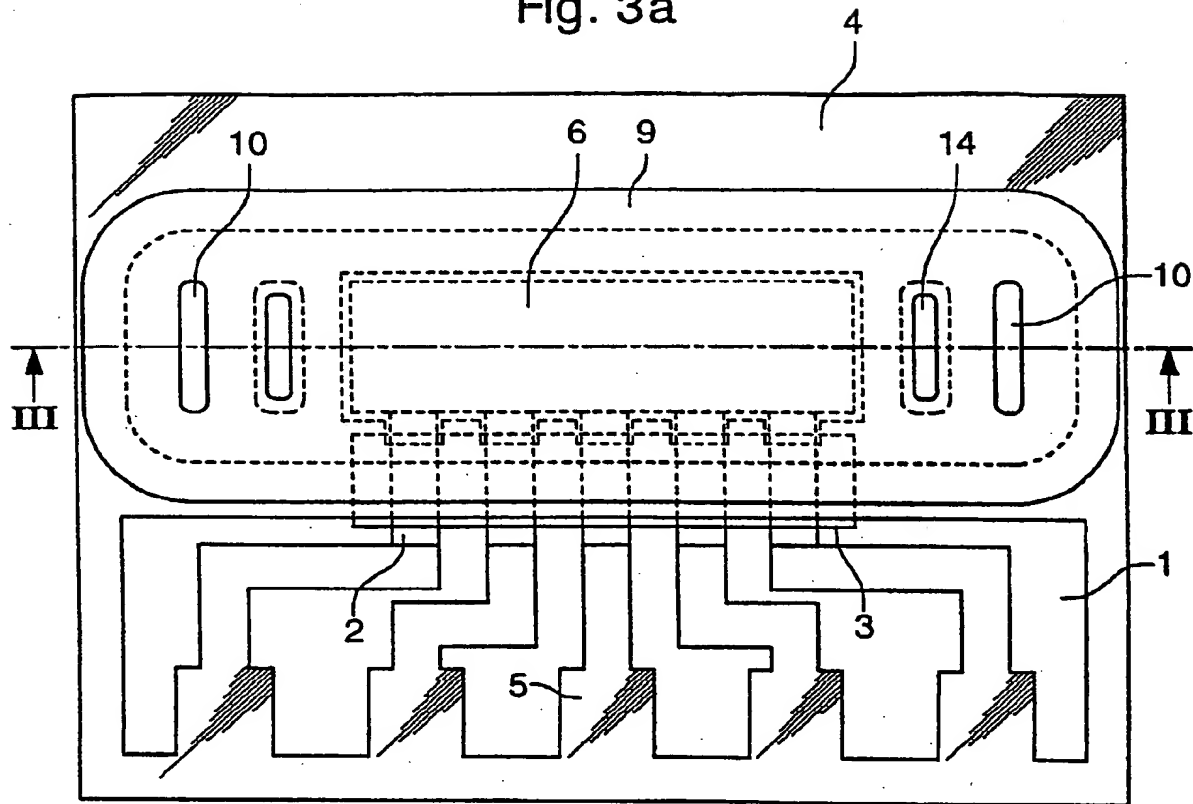


Fig. 3b

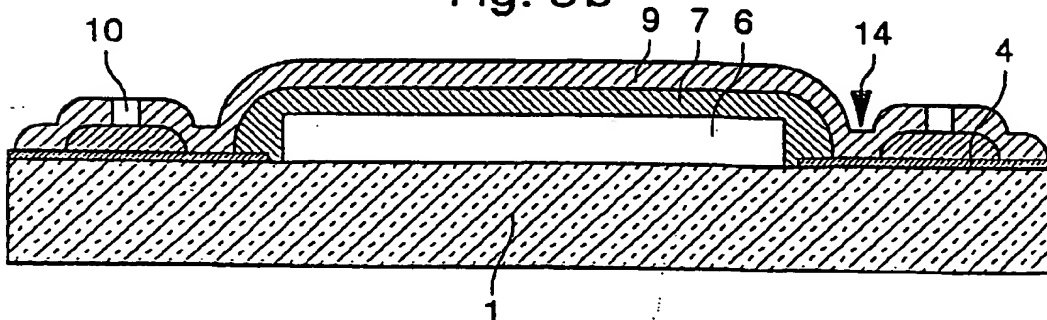


Fig. 4a

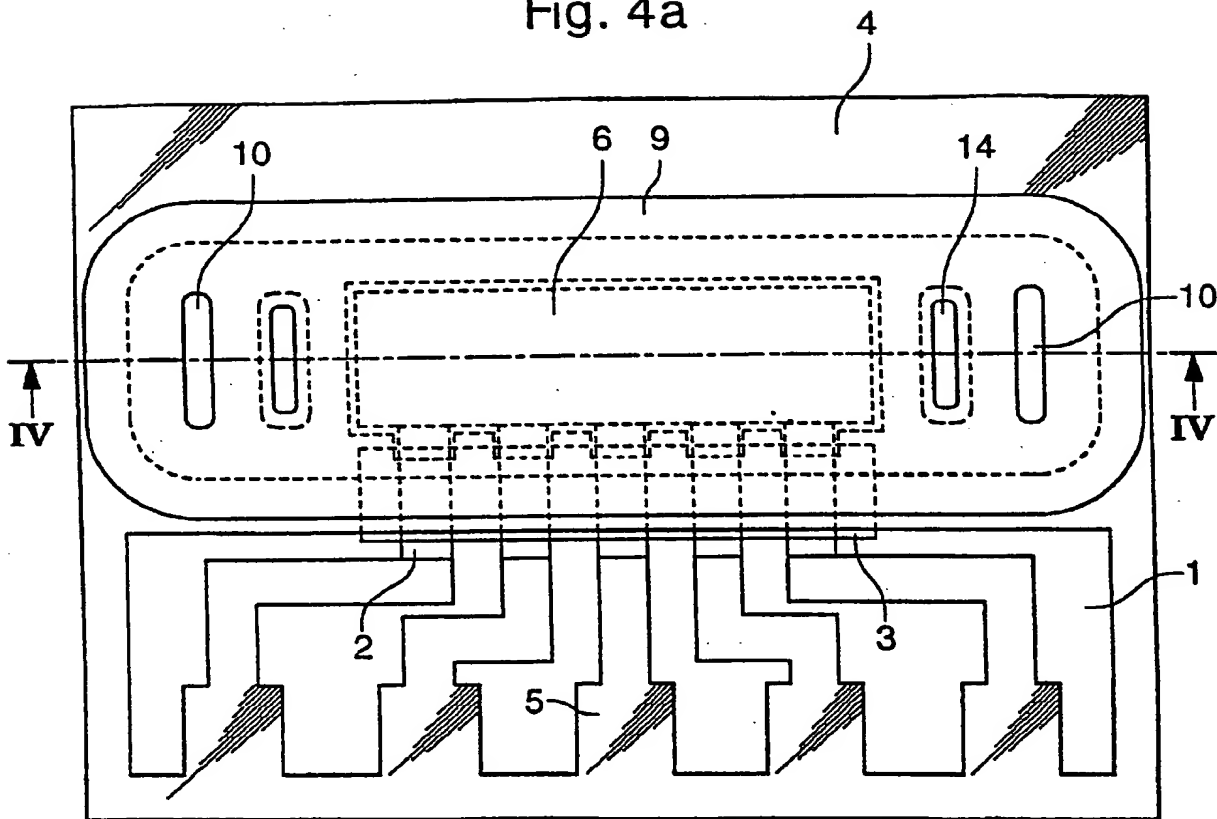


Fig. 4b

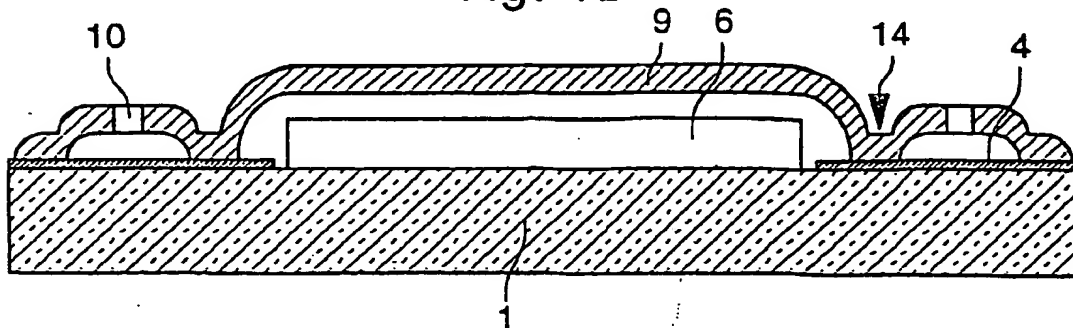


Fig. 5a

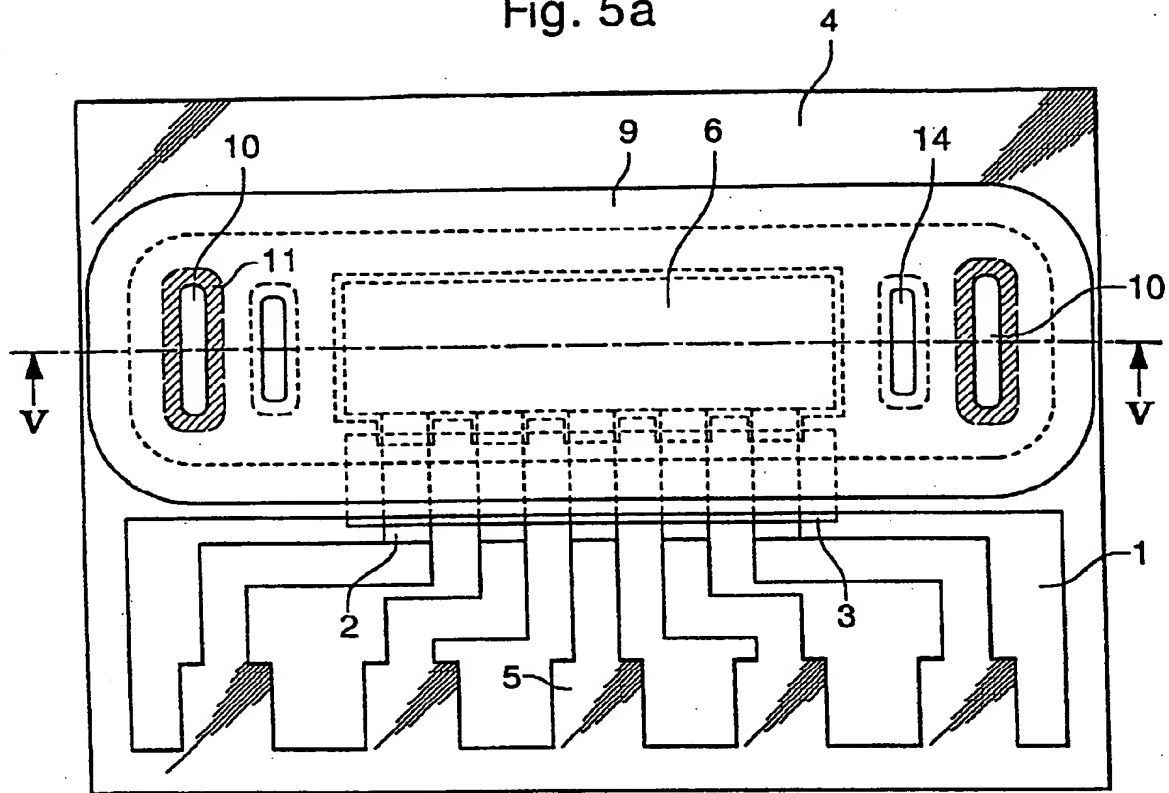


Fig. 5b

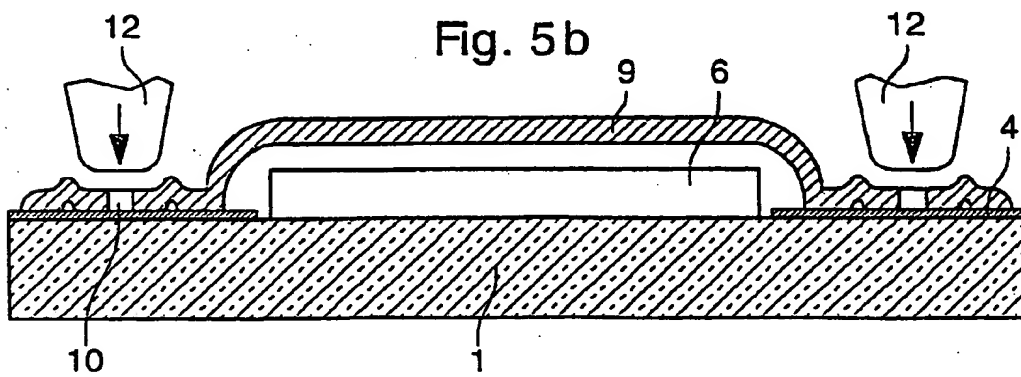
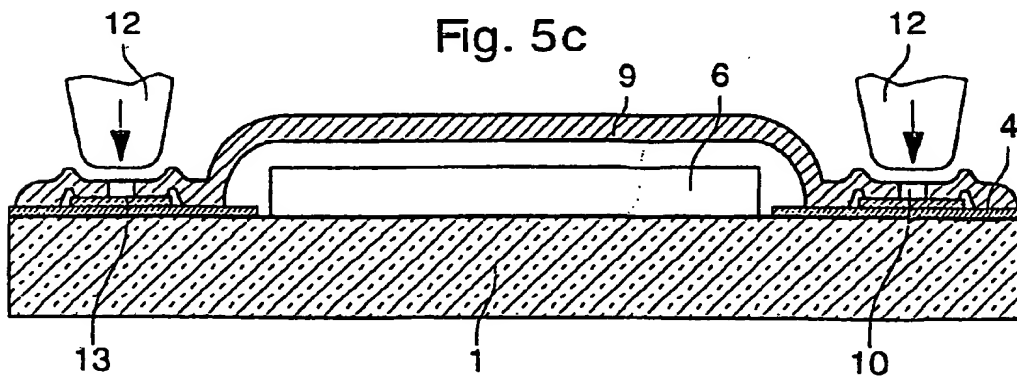


Fig. 5c



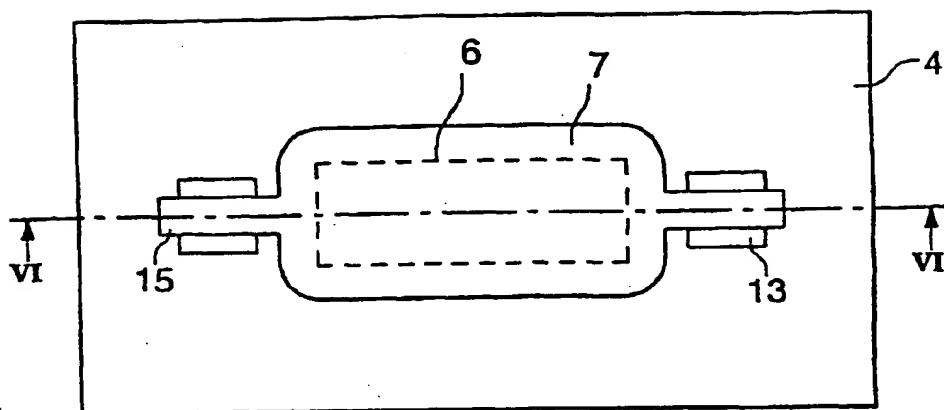


Fig. 6a

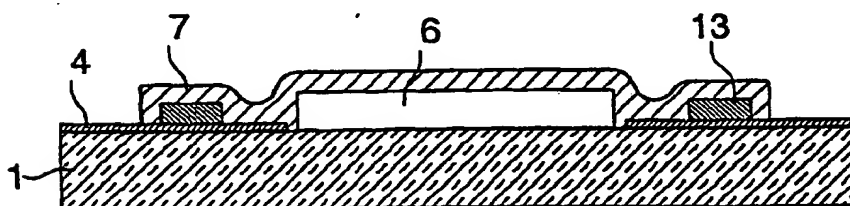


Fig. 6b

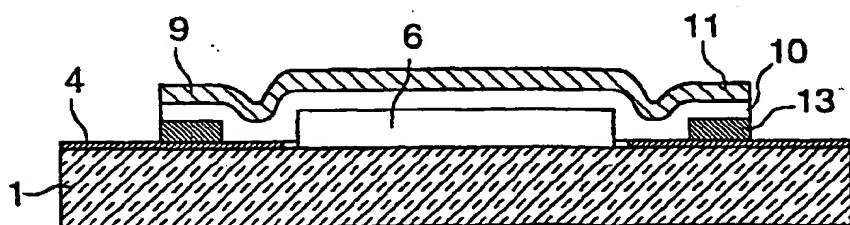


Fig. 8

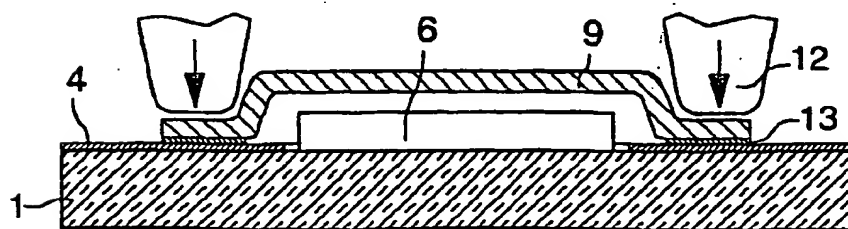


Fig. 9

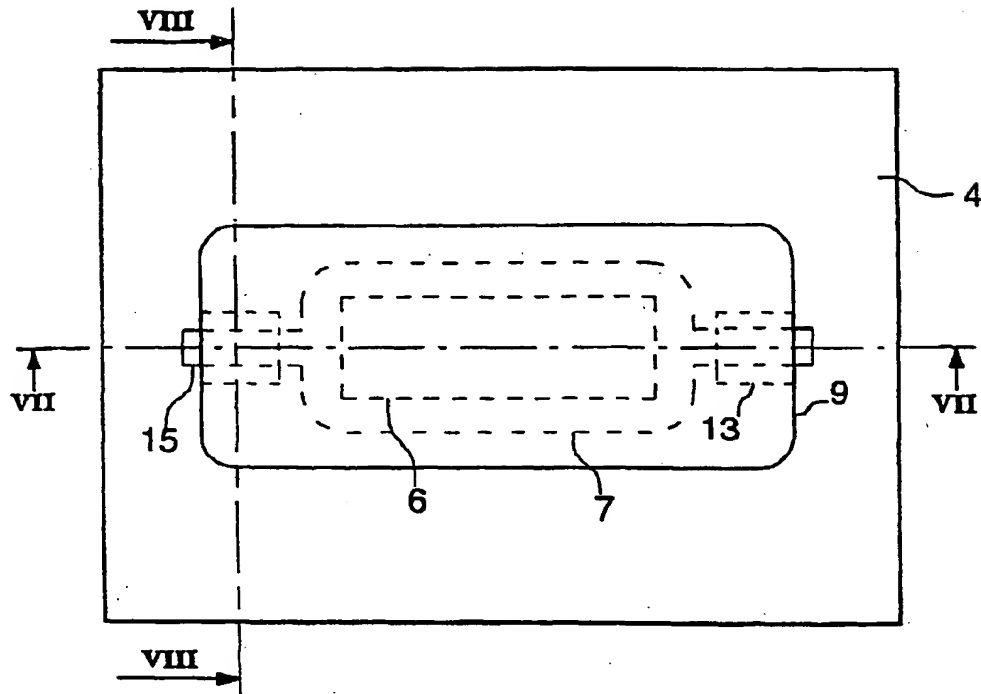


Fig. 7a

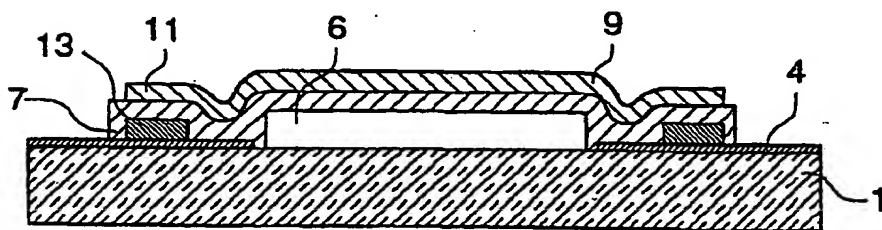


Fig. 7b

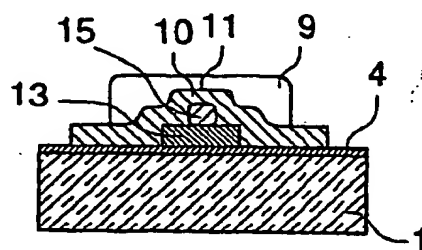


Fig. 7c

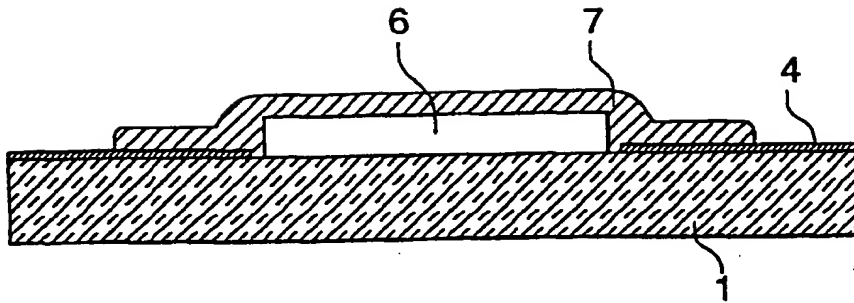


Fig. 10

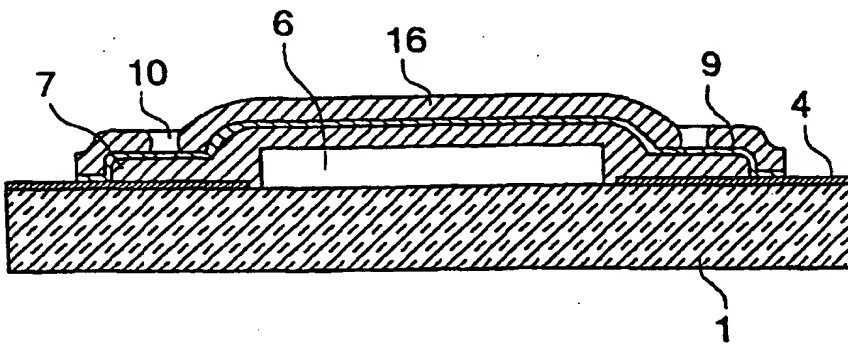


Fig. 11

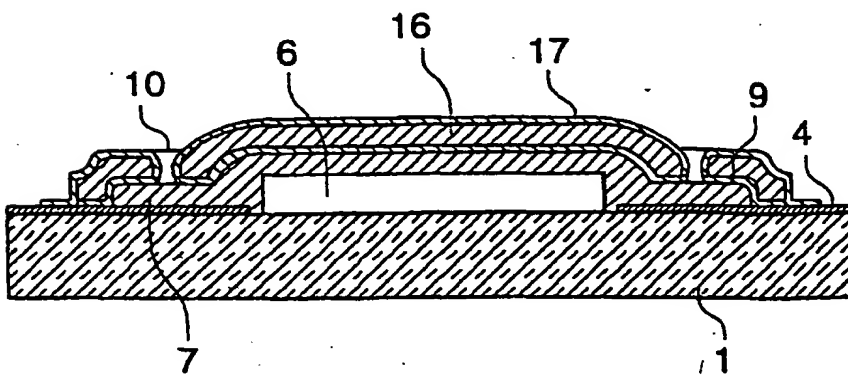


Fig. 12

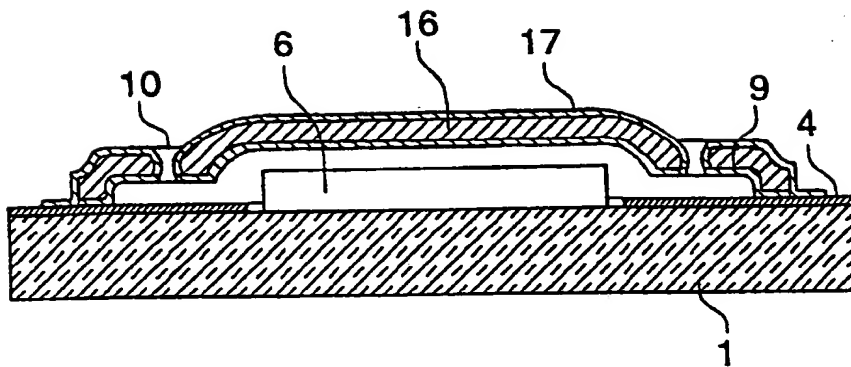


Fig. 13

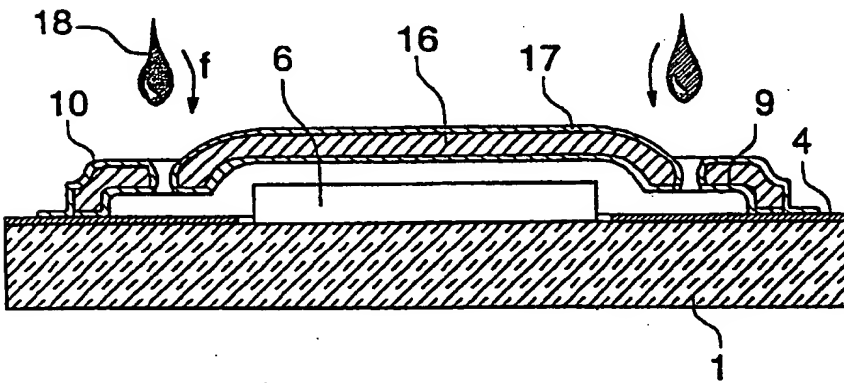


Fig. 14

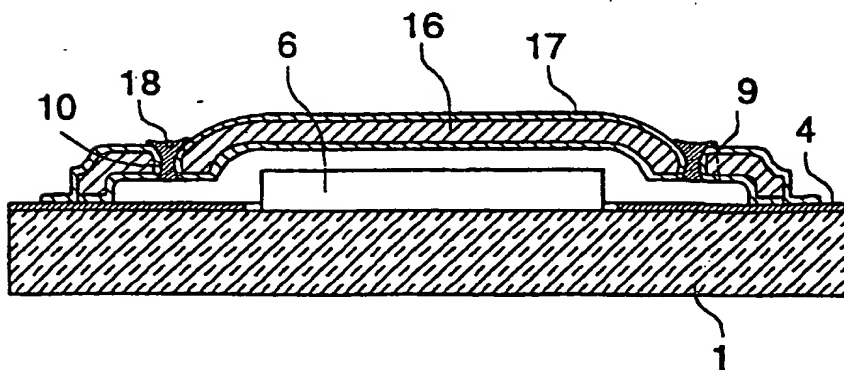


Fig. 15

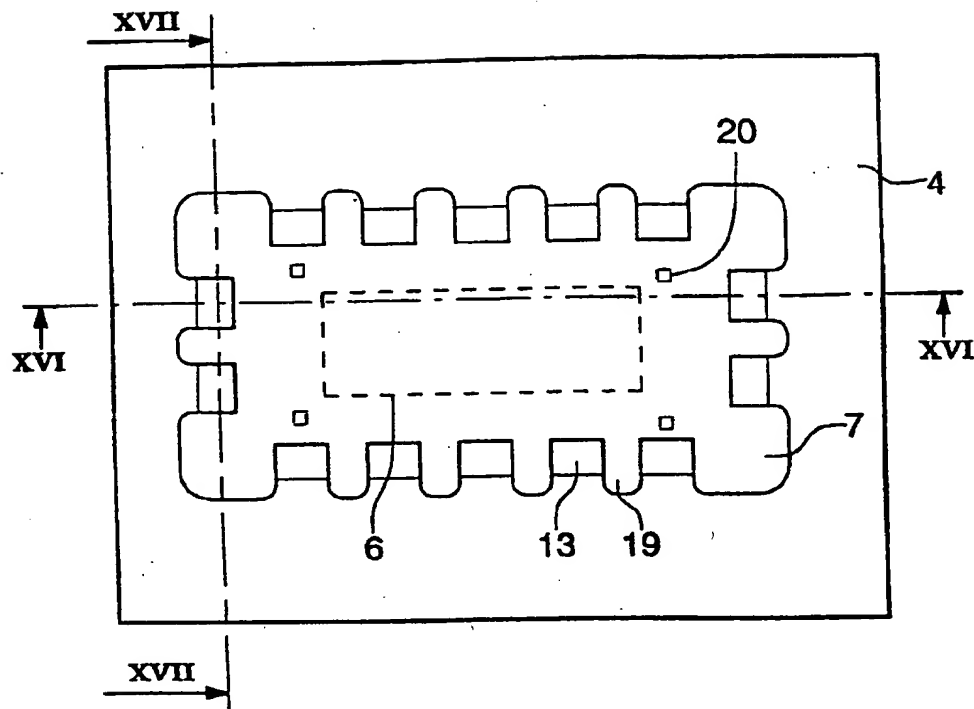


Fig. 16a

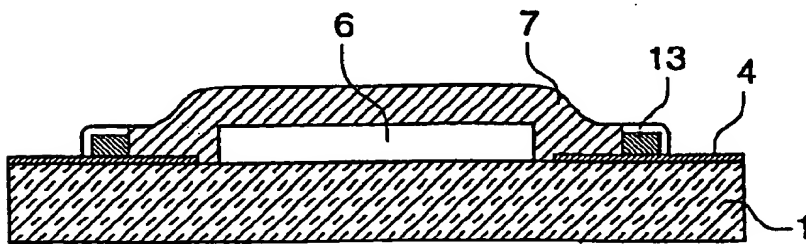


Fig. 16b

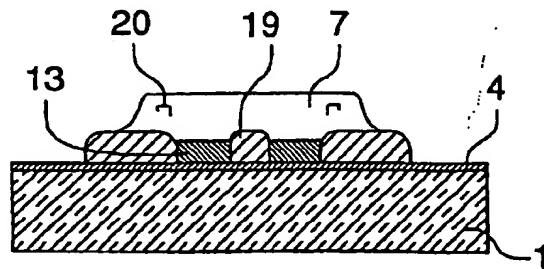


Fig. 16c

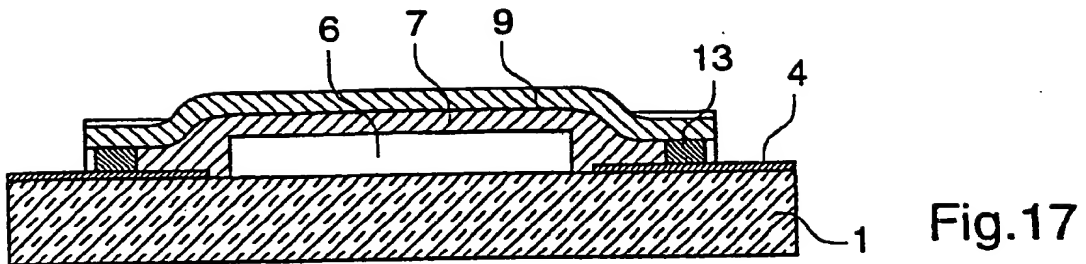


Fig.17

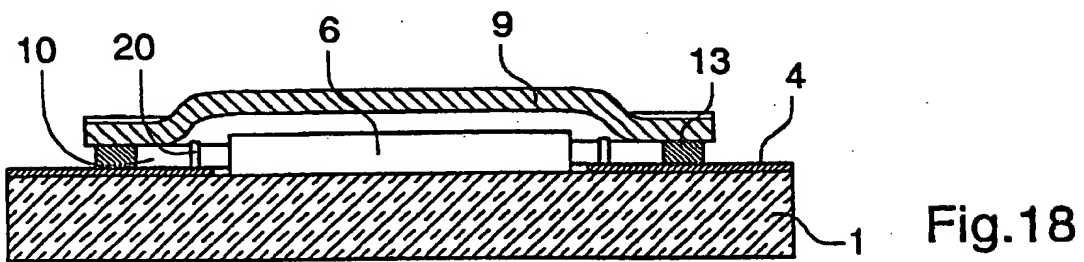


Fig.18

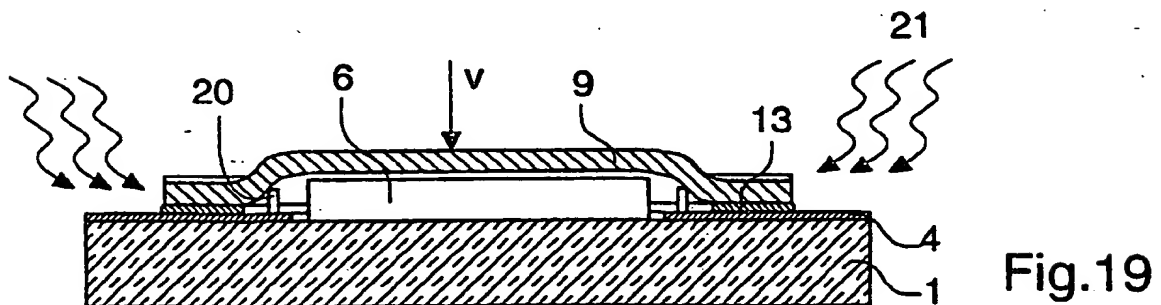


Fig.19

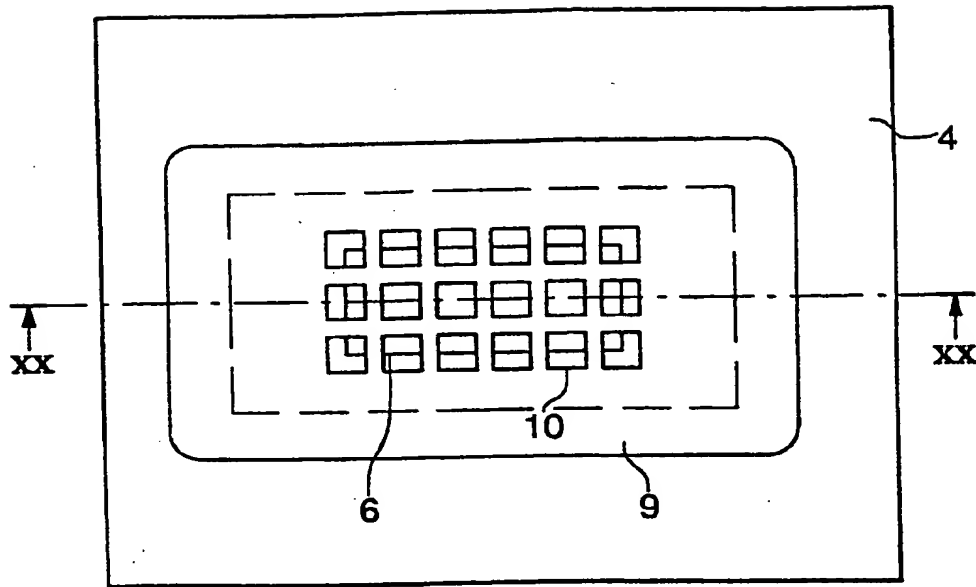


Fig. 20a

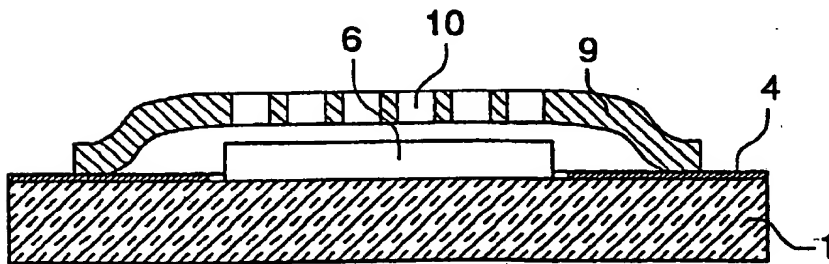


Fig. 20b

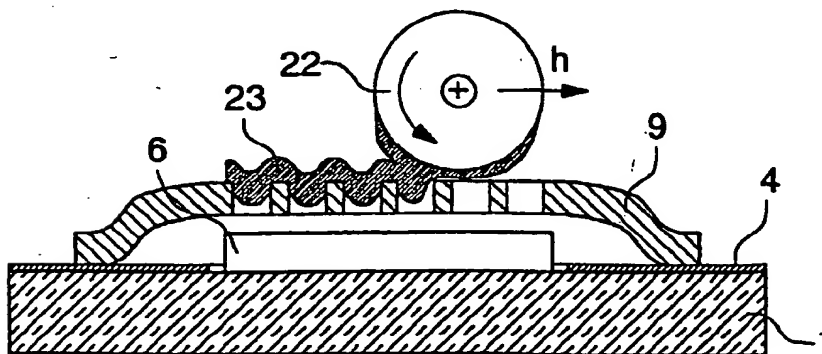


Fig. 21



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 99 12 5008

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (INCLT)
A	US 5 548 099 A (COLE JR HERBERT S ET AL) 20 août 1996 (1996-08-20) * abrégé; figures 1A-1D *	1-18	B81B7/00 H01L21/50 H01L23/10 H01L23/31
A	DE 197 35 041 A (NAT SEMICONDUCTOR CORP) 19 février 1998 (1998-02-19) * abrégé; figures *	1,18	
			DOMAIRES TECHNIQUES RECHERCHES (INCLT)
			B81B H01L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 18 mai 2000	Examineur Prohaska, G
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons A : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document prioritaire			

EPO FORM 1200 (02/99) (page 2)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 99 12 5008

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 18-05-2000.
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

18-05-2000

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5548099 A	20-08-1996	AUCUN	
DE 19735041 A	19-02-1998	US 5832585 A	10-11-1998

EPO FORM P4400

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82